



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017



FINAL PROJECT – RC14-1501

**MODIFICATION OF CIWANDA FLYOVER'S DESIGN
USING EXTRADOSED TYPED**

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Supervisor I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Supervisor II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civing Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017

MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA

NRP. 3112100045

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, MS

2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA



**SURABAYA
MEI, 2017**

MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED

Nama Mahasiswa : Indra Kusuma Jati Raj Suweda
NRP : 3112100045
Jurusan : Teknik Sipil FTSP – ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, MS.
Prof. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Abstrak

Jembatan merupakan struktur yang dibuat untuk menyeberangi rintangan seperti jurang, sungai, rel kereta api atau pun jalan raya. Jembatan dapat dibangun untuk penyeberangan pejalan kaki, kendaraan atau kereta api di atas halangan. Jembatan juga merupakan bagian dari infrastruktur transportasi darat yang sangat vital dalam aliran perjalanan (traffic flows). Jembatan sering menjadi komponen kritis dari suatu ruas jalan, karena sebagai penentu beban maksimum kendaraan yang melewati ruas jalan tersebut.

Selain berfungsi untuk menyeberangi rintangan Jembatan juga berfungsi untuk mengurangi dampak dari kemacetan. Salah satu pengalihan fungsi Jembatan ini adalah menjadikannya sebagai Flyover atau jalan layang. Jalan layang sendiri adalah jalan yang dibangun tidak sebidang atau melayang untuk menghindari daerah/kawasan yang selalu menghadapi permasalahan kemacetan lalu lintas, melewati daerah dengan konflik dipersimpangan, kawasan kumuh yang sulit, ataupun melalui kawasan rawa-rawa.

Tugas akhir ini akan direncanakan Flyover yang berlokasi di Ciwanda, kabupaten Cilegon, Provinsi Banten. Flyover ini akan dimodelkan dengan desain flyover tipe extradosed dimana tipe ini merupakan perbandingan flyover girder dengan kekuatan prategang serta flyover cable stayed namun dengan menggunakan menara yang lebih pendek.

Dari perhitungan kebutuhan didapatkan panjang Flyover Ciwanda adalah 331,00 meter dengan bentang 101,50 m + 128,00 m + 101,50 meter. Lantai kendaraan dibuat dua lajur dengan dua arah. Di tiap jalur terdapat barier dengan lebar masing 0.5m. Bangunan flyover disesuaikan dengan kondisi geografis yang ada, untuk mengantisipasi kemacetan yang terdapat pada jalan Brigjen Katamso.

Dari hasil analisa dan perhitungan didapatkan bahwa Eketifitas dari extradosed adalah 46,17%. Untuk analisis beban dinamis akibat angin untuk khususnya vortex shedding dan effect flutter, jembatan ini termasuk dalam kategori “Acceptable”. Kabel yang digunakan untuk kabel prategang adalah VSL 6 – 55 dengan gaya jacking seragam yaitu 11.712 kN dan untuk kabel penggantung digunakan VSL SSI 2000-D dengan unit kabel 6 – 31.

Kata Kunci: Flyover extradose; flyover Ciwanda; csiBridge 2016; beban dinamis; DED.

MODIFICATION OF CIWANDA FLYOVER'S DESIGN USING EXTRADOSED TYPED

Student Name : Indra Kusuma Jati Raj Suweda
NRP : 3112100045
Department : Teknik Sipil FTSP – ITS
Supervisor : Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, MS.
Prof. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Abstract

The bridge is a structure created to cross obstacles such as ravines, rivers, railroads or highways. The bridge can be built for pedestrian crossings, vehicle or train over the obstacle. The bridge is also part of the land transport infrastructure that is vital in the flow of travel (traffic flows). The bridge is often a critical component of a road section, because as determining the maximum load of vehicles that pass through these roads.

Besides functioning to cross the hurdle bridge also serves to reduce the impact of congestion. One of the transfer function of this bridge is making a flyover or overpass. The overpass itself is not a piece of road built or drift to avoid the area / region has always faced the problem of traffic congestion, passing through the area with conflict crossroads, slum areas that are difficult, or through the marsh area.

This final project will be planned flyover which is located in Ciwanda, kabupaten Cilegon, provinsi Banten. This flyover will be modeled by the design of the EXTRADOS where this type is combining of two technology of flyover girder with prestressed reinforcement as well as cable stayed flyover but by using a shorter tower.

From the length requirement calculations obtained that Flyover Ciwanda length needed is 331.00 meters with 101.50 m m + 128.00 meters + 101.50 meters span. The vehicle floor is made of two lanes with two-way. On each track there are barriers

at each 0.5m wide. Building flyover adapted to the geographical conditions exist, to avoid the traffic jams that are on the Jalan Brigadir Jendral Katamso.

From the analysis and calculations showed that the effectiveness of extradosed is 46.17%. For the analysis of dynamic load due to wind for a particular vortex shedding and flutter effect, the bridge is included in the category of "Acceptable". The cable used for cable VSL prestressing is 6-55 with a uniform jacking force is 11.712 kN and a cable hanger for use VSL SSI 2000-D with cable unit 6-31.

Keywords: *Flyover extradosed; Ciwanda flyover; csiBridge 2016; dynamic load; DED.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur seharusnya tak pernah usai kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat Beliau lah hingga saat ini kita masih bisa berkarya dalam usaha mewujudkan cita-cita bangsa sebagai orang-orang yang berkesempatan untuk menerima pendidikan tinggi. Selain itu karena anugerah-Nya yang tak akan pernah habis penulis memanjatkan puji syukur karena telah terselesaikan Tugas Akhir MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOS.

Dalam kesempatan ini penulis juga berterima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo Masiran, MS. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA selaku dosen pembimbing II yang memberikan konsultasi mulai dari pemilihan judul hingga selesainya proposal ini.
2. I Wayan Suweda selaku bapak dan Hartiningsih selaku ibu yang tak pernah berhenti berdoa kepada Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis diberikan kesehatan dan keselamatan selama menjalani masa perkuliahan.
3. Arif Yudhistira Raj Suweda selaku saudara dan Lydia Damara Raj Suweda selaku saudara penulis.
4. Serta tidak lupa juga kepada seluruh teman-teman Jurusan Teknik Sipil ITS angkatan 2012 yang selalu memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan proposal ini.

Pada laporan ini berisikan mengenai latar belakang dari perencanaan, inovasi terbaru dari teknologi terhadap topik yang terkait, metodologi yang akan digunakan penulis dalam menyusun tugas akhir nantinya, hasil serta pembahasan dari pengolahan data, dan kesimpulan dari laporan ini.

Besar harapan bagi penulis kepada pembaca agar apa yang terdapat dalam laporan ini bisa menjadi referensi atau acuan untuk pengembangan ilmu dalam bidang sipil secara umum dan bidang perencanaan flyover pada khususnya.

Sekian apa yang bisa penulis sampaikan pada kata pengantar ini. Mohon maaf jika ada kesalahan yang tak mengenakan hati karena pada dasarnya tak ada niatan yang buruk dalam penyusunan proposal ini. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih atas perhatiannya.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Beton Prategang	5
2.1.1. Pengertian Beton Prategang	5
2.1.2. Metode Prategang.....	5
2.1.3. Prinsip Kerja Beton Prategang	7
2.1.4. Kehilangan Gaya pada Beton Prategang	7
2.1.5. Prinsip Beton Prategang Menerus	12
2.2. Proses Perencanaan flyover	14
2.3. Flyover Extradosed.....	16
2.3.1. Pengertian Flyover Extradosed.....	16
2.3.2. Penentuan Dimensi pada Flyover Extradosed	16
2.3.3. Penentuan Dimensi Penampang pada Flyover Box Girder	18

2.4. Metode-metode Pelaksanaan Konstruksi Flyover Box Girder.....	20
2.5. Idealisasi Struktur.....	21
2.5.1. Analisis Frekuensi Lentur Fundamental.....	22
2.5.2. Analisis Stabilitas Aerodinamis.....	23
BAB III METODELOGI.....	31
3.1. Alur Diagram Metodologi	31
3.2. Penjelasan Diagram Alur.....	32
3.2.1. Studi Literatur.....	32
3.2.2. Pengumpulan Data.....	32
3.2.3. Perencanaan Awal	33
3.2.4. Perhitungan awal	33
3.2.5. Analisa Perilaku Struktur.....	33
3.2.6. Penyesuaian kebutuhan kabel akibat pelaksanaan dan deformasi	34
3.2.7. Penyesuaian kebutuhan kabel prategang akibat beban layan	34
3.2.8. Perhitungan struktur flyover akibat beban dinamis ...	34
3.2.9. Perhitungan struktur flyover akibat kondisi tertentu .	35
3.2.10. Penggambaran DED	35
3.3. Jadwal Perencanaan Tugas Akhir.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Data Teknis Perencanaan.....	37
4.1.1. Data Flyover	37
4.1.2. Data Bahan	37
4.1.3. Tegangan Ijin Beton	38

4.2. Preliminary Desain	40
4.2.1. Preliminary Desain Flyover.....	40
4.2.2. Preliminary Desain Penampang Box Girder	40
4.2.3. Rencana Perletakan pada Flyover	46
4.2.4. Geometri Preliminary Desain Penampang	47
4.3. Kombinasi Beban dan Pembebanan pada Perencanaan Flyover	49
4.3.1. Kombinasi Beban	49
4.3.2. Pembebanan pada Perencanaan Flyover	50
4.3.3. Output Bidang Gaya Momen M3 dan Geser V2 Hasil Analisa Program Bantu	65
4.3.4. Penentuan Kebutuhan Kabel Penggantung.....	72
4.4. Perencanaan Gaya Jacking dan Eksentrisitas Kabel Prategang.....	87
4.4.1. Momen envelope dari kondisi layan.....	87
4.4.2. Rencana eksentrisitas ekivalen dan gaya jacking.	91
4.5. Perubahan Garis Pusat Tekanan pada Tendon Menerus	100
4.5.1. Asumsi awal koordinat tendon menerus.....	100
4.5.2. Momen sekunder akibat titik fokus pada kabel prategang	101
4.5.3. Nilai garis pusat tekanan baru	103
4.5.4. Kontrol tegangan akibat nilai pusat tekanan baru ...	104
4.6. Analisa Tegangan arah Horizontal	110
4.6.1. Momen arah Horizontal akibat Kabel Prategang	111
4.6.2. Kontrol tegangan arah horizontal	112
4.7. Koordinat dan eksentrisitas per tendon	113
4.7.1. Penentuan Batas Limit Kabel	113

4.7.2. Koordinat kabel prategang.....	115
4.8. Kehilangan Gaya Prategang pada Kabel Prategang	122
4.8.1. Kehilangan gaya prategang seketika	122
4.8.2. Kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan wooble effect (WE)	126
4.8.3. Kehilangan gaya prategang jangka panjang (fungsi waktu)	129
4.8.4. Rekapitulasi Kehilangan Gaya Prategang	138
4.9. Analisa Momen Nominal (M_n) dan Momen Retak (M_{cr}) pada Masing-masing Joint	146
4.9.1. Analisa momen nominal (M_n).....	146
4.9.2. Analisa momen retak (M_{cr}).....	150
4.9.3. Kontrol Momen nominal (M_n), Momen ultimit (M_u), dan Momen Retak (M_{cr})	153
4.10. Kontrol Lendutan pada Bentang Flyover	154
4.10.1. Lendutan akibat beban permanen	154
4.10.2. Lendutan akibat kombinasi daya layan.....	156
4.10.3. Rekapitulasi kontrol lendutan pada flyover	157
4.11. Kontrol Aerodinamis Flyover akibat Beban Angin Dinamis	157
4.11.1. Penentuan Frekuensi Fundamental Lentur dan Torsi	158
4.11.2. Analisa Vortex Shedding.....	159
4.11.3. Analisa Efek Flutter pada Flyover.....	167
4.12. Analisa Kondisi Tertentu.....	170
4.12.1. Analisa kondisi kabel penggantung putus pada bentang tengah.....	170

4.12.2. Pengaruh kabel penggantung putus terhadap bentang flyover	170
4.12.3. Pengaruh Kabel Penggantung Putus terhadap Pilar	175
4.12.4. Pengaruh Kondisi Kabel Putus terhadap Tegangan Kabel Lainnya	179
4.12.5. Penyesuaian Kebutuhan Tendon Kabel.....	184
4.12.6. Kontrol pada Kondisi Kabel Penggantung Putus Terhadap Momen Nominal dan Momen Crack.....	184
4.13. Penulangan pada Flyover	185
4.13.1. Penulangan lentur	185
4.13.2. Penulangan geser pada flyover.....	189
4.13.3. Kontrol dan penulangan torsi pada penampang	199
4.14. Penulangan pilar	203
4.14.1. Penulangan tulangan lentur pilar	203
4.14.2. Tulangan geser	207
4.15. Analisa Tahapan Konstruksi	211
BAB V PENUTUP	217
5.1. Kesimpulan.....	217
5.2. Saran.....	217
DAFTAR PUSTAKA	219

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi perencanaan flyover Flyover Ciwanda.	2
Gambar 1.2 Salah satu contoh flyover extrados, Flyover Twinkle Kisogawa, Jepang.	2
Gambar 2.1 Ilustrasi Cara Pengerjaan Beton Pratarik (kiri) dan Pasca Tarik (kanan) (T.Y Lin, 1996).	6
Gambar 2.2 Ilustrasi Perubahan Pusat Tekan.	13
Gambar 2.3 Gaya Dalam pada Proses Penentuan C-Line Baru. .	14
Gambar 2.4 Gambar perbandingan dimensi pada flyover girder, extradosed, dan cable-stayed. (Mermigas, 2008)	16
Gambar 2.5 Dimensi nomenklatur untuk dek corbellling (Chio, 2000).....	17
Gambar 2.6 Pengaplikasian sistem perancah pada konstruksi flyover. (Sumber: wikipedia.org)	20
Gambar 2.7 Ilustrasi pengerjaan metode <i>balance cantilever</i> (sumber: http://theconstructor.org/).....	21
Gambar 2.8 Pendektan Aksi Beban Angin pada Dek (Walther, 1988).....	24
Gambar 2.9 Grafik Penentuan Kelayakan Jembatan berdasarkan Percepatan dan Frekuensi.	26
Gambar 2.10 Grafik Penentuan Kelayakan Jembatan berdasarkan Amplitudo dan Frekuensi.	26
Gambar 2.11 Efek flutter dengan perbedaan fase sebesar $\pi/2$ (Walther, 1988)	27
Gambar 2.12 Kecepatan kritis teoritis untuk flutter (Walther, 1988).....	28
Gambar 2.13 Koefisien koreksi $\eta = V_{\text{crit actual}}/V_{\text{crit theoretical}}$ (Walther , 1988).....	30
Gambar 3.1 Alur diagram metodologi perencanaan flyover FO Ciwanda.....	31
Gambar 3.2 Layout flyover flyover Ciwanda.....	33
Gambar 4.1 Karakteristik Penampang Kabel VSL.....	38

Gambar 4.2 Perbandingan Tinggi Pilar dan Dek terhadap Bentang Jembatan.....	40
Gambar 4.3 Dimensi pelat kantilever.....	41
Gambar 4.4 Formasi Perletakan pada Perencanaan Flyover Ciwanda.....	46
Gambar 4.5 Geometri preliminary desain tipikal penampang (satuan dalam cm).....	47
Gambar 4.6 Hasil Input Pemrograman Struktur dengan Program Bantu CSi Bridge.....	48
Gambar 4.7 Dimensi pagar (kiri) dan kerb pada perencanaan flyover (kanan).	51
Gambar 4.8 Ilustrasi Pembebanan Beban Lajur D Menurut SNI 1725 2016.....	52
Gambar 4.9 Distribusi Nilai FBD Menurut SNI 1725 2016.....	53
Gambar 4.10 Kasus-kasus yang Direncanakan Dalam Pendistribusian Beban Lajur “D”	54
Gambar 4.11 Ilustrasi pembebanan akibat beban lajur “T” sesuai dengan SNI 1725 2016.	55
Gambar 4.12 Kondisi Perencanaan Penurunan pada Struktur Flyover.....	60
Gambar 4.13 Lokasi Perencanaan Konstruksi Flyover.	62
Gambar 4.14 Koefisien Gempa Elastik, Csm (g).	63
Gambar 4.15 Bidang M Akibat Beban Mati Komponen.....	66
Gambar 4.16 Bidang D Akibat Beban Mati Komponen.....	66
Gambar 4.17 Bidang M Akibat Beban Mati Perkerasaan dan Utilitas.	66
Gambar 4.18 Bidang D Akibat Beban Mati Perkerasaan dan Utilitas.	67
Gambar 4.19 Bidang M Akibat Beban Kabel Prategang.....	67
Gambar 4.20 Bidang D Akibat Beban Kabel Prategang.	67
Gambar 4.21 Bidang M Akibat Beban Rem.....	68
Gambar 4.22 Bidang D Akibat Beban Rem.	68
Gambar 4.23 Bidang M Akibat Beban Gempa.....	68
Gambar 4.24 Bidang D Akibat Beban Gempa.	69
Gambar 4.25 Bidang M Akibat Beban Lajur D.....	69

Gambar 4.26 Bidang D Akibat Beban Lajur D.	69
Gambar 4.27 Bidang M Akibat Beban Penurunan.	70
Gambar 4.28 Bidang D Akibat Beban Penurunan.	70
Gambar 4.29 Bidang M Akibat Beban Temperatur Seragam.	70
Gambar 4.30 Bidang D Akibat Beban Temperatur Seragam.	71
Gambar 4.31 Bidang M Akibat Beban Angin pada Struktur.	71
Gambar 4.32 Bidang D Akibat Beban Angin pada Struktur.	71
Gambar 4.33 Bidang M Akibat Beban Angin pada Kendaraan. .	72
Gambar 4.34 Bidang D Akibat Beban Angin pada Kendaraan. .	72
Gambar 4.35 Konfigurasi semi fan pada perencanaan fly over ..	73
Gambar 4.36 Nilai Panjang Relatif pada Kabel Sebelum dan Sesudah terjadi Deformasi.	84
Gambar 4.37 Bidang Momen Kombinasi Daya Layan I.	88
Gambar 4.38 Bidang Momen Kombinasi Daya Layan II.	88
Gambar 4.39 Bidang Momen Kombinasi Daya Layan III.	88
Gambar 4.40 Bidang Momen Kombinasi Daya Layan IV.	89
Gambar 4.41 Bidang Momen Kombinasi Daya Layan dalam Satu Gambar.	89
Gambar 4.42 Envelope Bidang Momen Kombinasi Daya Layan.	90
Gambar 4.43 Envelope Bidang Momen Kombinasi Layan dan Bidang Momen Akibat Beban Mati.	90
Gambar 4.44 Grafik Tegangan Serat Atas dan Bawah pada Station +40,00.	95
Gambar 4.45 Grafik Tegangan Serat Atas dan Bawah pada Station +165,50.	98
Gambar 4.46 Grafik Koordinat Layout Tendon.	100
Gambar 4.47 Ilustrasi Pembebanan Akibat Kabel Prategang.	102
Gambar 4.48 Input Pembebanan Akibat Kabel Prategang pada Program Bantu.	102
Gambar 4.49 Bidang Momen Akibat Kabel Prategang pada Program Bantu.	103
Gambar 4.50 Grafik Perbandingan Koordinat Layout Tendon Awal dan Akhir.	104

Gambar 4.51 Grafik Tegangan Serat pada Kondisi Jacking untuk Station +291,00 Pasca Perubahan Koordinat Tendon.	106
Gambar 4.52 Grafik Tegangan Serat pada Kondisi Layan untuk Station +291,00 Pasca Perubahan Koordinat Tendon.	109
Gambar 4.53 Ilustrasi Gaya Secara Horizontal Akibat Kabel Penggantung dan Kabel Prategang.	111
Gambar 4.54 Envelope Kombinasi Gaya Ekstrim Arah Horizontal.	111
Gambar 4.55 Grafik Tegangan Horizontal.	113
Gambar 4.56 Grafik Koordinat Kabel terhadap Batas Atas dan Bawah.	118
Gambar 4.57 Ploting Koordinat Kabel terhadap Tinggi Penampang.	120
Gambar 4.58 Ploting Koordinat Tendon A terhadap Tinggi Penampang.	120
Gambar 4.59 Ploting Koordinat Tendon B terhadap Tinggi Penampang.	121
Gambar 4.60 Ploting Koordinat Tendon C terhadap Tinggi Penampang.	121
Gambar 4.61 Ploting Koordinat Tendon D terhadap Tinggi Penampang.	121
Gambar 4.62 Ploting Koordinat Tendon E terhadap Tinggi Penampang.	122
Gambar 4.63 Bentuk Penampang Jembatan Pada Pelat Atas.	148
Gambar 4.64 Grafik Nilai Lebar Jembatan.	149
Gambar 4.65 Lendutan Akibat Beban Mati Struktural.	154
Gambar 4.66 Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan.	155
Gambar 4.67 Lendutan Akibat Gaya Prategang.	155
Gambar 4.68 Lendutan Akibat Daya Layan.	156
Gambar 4.69 Grafik S-L/D.	159
Gambar 4.70 Fungsi Time Histori Menggunakan Program Bantu CSi Bridge.	162
Gambar 4.71 Beban yang Bekerja Sepanjang Bentang Jembatan.	163

Gambar 4.72 Data Pseudo Spectral Accelerations pada Tengah Bentang.....	163
Gambar 4.73 Data Amplitudo pada Tengah Bentang.	164
Gambar 4.74 Data Percepatan pada Tengah Bentang.	164
Gambar 4.75 Grafik Kelayakan Jembatan, Amplitudo – Frekuensi.	166
Gambar 4.76 Grafik Kelayakan Jembatan, Percepatan – Frekuensi.	166
Gambar 4.77 Grafik Faktor Pengali V-kritis Teoritis.	168
Gambar 4.78 Penyesuaian Bentuk Penampang.	169
Gambar 4.79 Faktor Reduksi untuk V-kritis Aktual.	169
Gambar 4.80 Pemilihan Kabel Diputus pada Jembatan.	170
Gambar 4.81 Perbandingan pada Bidang Momen.....	171
Gambar 4. 82 Perbandingan pada Bidang Aksial.....	172
Gambar 4.83 Perbandingan pada Bidang Geser.....	173
Gambar 4.84 Perbandingan pada Bidang Torsi.....	174
Gambar 4.85 Perbandingan Momen M2 pada Pilar.	176
Gambar 4.86 Perbandingan Momen M3 pada Pilar.	176
Gambar 4.87 Perbandingan Aksial pada Pilar.....	178
Gambar 4.88Perbandingan Geser V2 pada Pilar.	179
Gambar 4.89 Perbandingan Geser V3 pada Pilar.	179
Gambar 4.90 Perbandingan Gaya Tarik pada Kabel (Frame 487 – 501).....	180
Gambar 4.91 Perbandingan Gaya Tarik pada Kabel (Frame 503 – 518).....	181
Gambar 4.92 Perbandingan Gaya Tarik pada Kabel (Frame 520 – 534).....	182
Gambar 4.93 Perbandingan Gaya Tarik pada Kabel (Frame 536 – 550).....	183
Gambar 4.94 Daerah Tahanan Torsi.	201
Gambar 4.95 Grafik Tegangan Tekan Akibat Beban 1,4 D + 1,0 P.....	202
Gambar 4.96 Tipe Pilar yang akan Direncanakan.....	203
Gambar 4.97 Diagram Interaksi P-M pada Pilar Type I.....	204

Gambar 4. 98 Hasil Nilai P dan M dari SpColumn pada Pilar Tipe I.....	204
Gambar 4.99 Diagram Interaksi P-M pada Pilar Type II.	205
Gambar 4.100 Hasil Nilai P dan M dari SpColumn pada Pilar Tye II.	206
Gambar 4.101 Potongan Melintang Penampang Pilar Type I. ..	208
Gambar 4.102 Potongan Melintang Penampang Pilar Type II. ..	209
Gambar 4.103 Kondisi struktur pada saat stage 1.	211
Gambar 4.104 Kondisi Gaya pada Reaksi Perletakan Perancah pada Saat Stage 1.....	211
Gambar 4.105 Kondisi struktur pada saat stage 2.	212
Gambar 4.106 Kondisi Gaya pada Reaksi Perletakan Perancah pada Saat Stage 2.....	212
Gambar 4.107 Kondisi struktur pada saat stage 3.	213
Gambar 4.108 Kondisi Gaya pada Reaksi Perletakan Perancah pada Saat Stage 3.....	213
Gambar 4.109 Kondisi struktur pada saat stage 4.	214
Gambar 4.110 Kondisi Gaya pada Reaksi Perletakan Perancah pada Saat Stage 4.....	214
Gambar 4.111 Kondisi struktur pada saat stage 5.	214
Gambar 4.112 Kondisi struktur pada saat stage 5.	215
Gambar 4.113 Kondisi struktur pada saat stage 1.	215

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien untuk Wobble Effect dan Kelengkungan.	9
Tabel 2.2 Koefisien Jangka Waktu Setelah Curing Sampai Penerapan Prategang.	10
Tabel 2.3 Koefisien Nilai C dan J.	11
Tabel 2.4 Koefisien Nilai Kre.	11
Tabel 4.1 Karakteristik penampang.....	48
Tabel 4.2 Variasi Nilai Vo dan Zo untuk Berbagai Kondisi Permukaan.	57
Tabel 4.3 Variasi Nilai Beban terhadap Sudut Derajat.	58
Tabel 4.4 Kriteria Temperatur pada Struktur Flyover Menurut SNI 1725 2016.	61
Tabel 4.5 Koordinat Frame 487 – Frame 493	74
Tabel 4.6 Koordinat Frame 495 – Frame 501	75
Tabel 4.7 Koordinat Frame 503 – Frame 509	75
Tabel 4.8 Koordinat Frame 511 – Frame 518	75
Tabel 4.9 Koordinat Frame 520 – Frame 526	76
Tabel 4.10 Koordinat Frame 528 – Frame 534	76
Tabel 4.11 Koordinat Frame 536 – Frame 542	76
Tabel 4.12 Koordinat Frame 544 – Frame 550	77
Tabel 4.13 Kebutuhan Strand Frame 487 – Frame 501.....	79
Tabel 4.14 Kebutuhan Strand Frame 503 – Frame 518.....	80
Tabel 4.15 Kebutuhan Strand Frame 520 – Frame 534.....	80
Tabel 4.16 Kebutuhan Strand Frame 536 – Frame 550.....	81
Tabel 4.17 Elastisitas Ekuivalen Frame 487 – Frame 501	82
Tabel 4.18 Elastisitas Ekuivalen Frame 503 – Frame 518	83
Tabel 4.19 Elastisitas Ekuivalen Frame 520 – Frame 534	83
Tabel 4.20 Elastisitas Ekuivalen Frame 536 – Frame 550	84
Tabel 4.21 Panjang Relatif Frame 487 – Frame 501	85
Tabel 4.22 Panjang Relatif Frame 503 – Frame 518.....	86
Tabel 4.23 Panjang Relatif Frame 520 – Frame 534.....	86
Tabel 4.24 Panjang Relatif Frame 536 – Frame 550.....	87

Tabel 4.25 Envelope Bidang Momen Kombinasi Layan dan Bidang Momen Akibat Beban Mati.....	91
Tabel 4.26 Eksentrisitas dan Jumlah Tendon pada Setiap Station yang Ditinjau.	92
Tabel 4.27 Karakteristik Penampang pada Setiap Station.....	93
Tabel 4.28 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Jacking.....	96
Tabel 4.29 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Jacking (Lanjutan).	96
Tabel 4.30 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Layan.	99
Tabel 4.31 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Layan (Lanjutan).	99
Tabel 4.32 Asumsi Awal Koordinat Tendon Menerus.	100
Tabel 4.33 Perbandingan Koordinat Eksentrisitas Awal dan Akhir.....	104
Tabel 4.34 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Jacking Pasca Perubahan Titik Tekan.	107
Tabel 4.35 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Jacking Pasca Perubahan Titik Tekan (Lanjutan).	107
Tabel 4.36 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Layan Pasca Perubahan Titik Tekan.	110
Tabel 4.37 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Layan Pasca Perubahan Titik Tekan (Lanjutan).....	110
Tabel 4.38 Rekapitulasi Perhitungan F_o	115
Tabel 4.39 Rekapitulasi Perhitungan ULC dan LLC.....	115
Tabel 4.40 Rekapitulasi Perhitungan Eksentrisitas.	116
Tabel 4.41 Rekapitulasi Perhitungan Eksentrisitas (Lanjutan)....	117
Tabel 4.42 Rekapitulasi Koordinat Kabel Tendon A.	118
Tabel 4.43 Rekapitulasi Koordinat Kabel Tendon B.....	119
Tabel 4.44 Rekapitulasi Koordinat Kabel Tendon C.....	119
Tabel 4.45 Rekapitulasi Koordinat Kabel Tendon D.	119
Tabel 4.46 Rekapitulasi Koordinat Kabel Tendon E.....	120
Tabel 4.47 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis.	124

Tabel 4.48 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis.....	125
Tabel 4.49 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis.....	126
Tabel 4.50 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Friksi dan <i>Wobble Effect</i> pada Tendon A.	127
Tabel 4.51 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Friksi dan <i>Wobble Effect</i> pada Tendon B.	128
Tabel 4.52 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Friksi dan <i>Wobble Effect</i> pada Tendon C.	128
Tabel 4.53 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Friksi dan <i>Wobble Effect</i> pada Tendon D.	128
Tabel 4.54 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Friksi dan <i>Wobble Effect</i> pada Tendon E.	129
Tabel 4.55 Rekapitulasi Perhitungan Akibat Rangkak Beton. ..	131
Tabel 4.56 Rekapitulasi Perhitungan Akibat Rangkak Beton (Lanjutan).	132
Tabel 4.57 Rekapitulasi Perhitungan Akibat Rangkak Beton (Lanjutan 2).	132
Tabel 4.58 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kehilangan akibat Susut Beton.	134
Tabel 4.59 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Relaksasi Baja (Tendon 1-18).	135
Tabel 4.60 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Relaksasi Baja (Tendon 19-36).	136
Tabel 4.61 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Relaksasi Baja (Tendon 37-54).	137
Tabel 4.62 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Relaksasi Baja (Tendon 55-74).	138
Tabel 4.63 Rekapitulasi Total Kehilangan Gaya Prategang pada Tendon 1-18.	139
Tabel 4.64 Rekapitulasi Total Kehilangan Gaya Prategang pada Tendon 19-36.	140
Tabel 4.65 Rekapitulasi Total Kehilangan Gaya Prategang pada Tendon 37-54.	141

Tabel 4.66 Rekapitulasi Total Kehilangan Gaya Prategang pada Tendon 55-74.....	142
Tabel 4.67 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Seketika Gaya Pratekan Station 1-7.	143
Tabel 4.68 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Jangka Panjang Gaya Pratekan Station 1-7.	143
Tabel 4.69 Rekapitulasi Perhitungan Total Kehilangan Gaya Pratekan Station 1-7.	143
Tabel 4.70 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Tegangan Pasca Kehilangan.....	145
Tabel 4.71 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Tegangan Pasca Kehilangan (Lanjutan).....	145
Tabel 4.72 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Tegangan Pasca Kehilangan (Lanjutan 2).....	146
Tabel 4.73 Rekapitulasi Perhitungan Momen Nominal (Mn). ..	150
Tabel 4.74 Rekapitulasi Perhitungan Momen Nominal (Mn) (Lanjutan).	150
Tabel 4.75 Rekapitulasi Perhitungan Momen Retak (Mcr).....	152
Tabel 4.76 Rekapitulasi Perhitungan Momen Retak (Mcr) (Lanjutan).	152
Tabel 4.77 Rekapitulasi Perhitungan Momen Ultimit (Mu).....	153
Tabel 4.78 Rekapitulasi Perbandingan Momen Ultimit dengan Nilai Momen Nominal dan Momen Retak.	154
Tabel 4.79 Rekapitulasi Perhitungan Defleksi.	155
Tabel 4.80 Rekapitulasi Perhitungan Defleksi Akibat Daya Layan.	156
Tabel 4.81 Rekapitulasi Perhitungan Lendutan Akibat Beban Hidup.	157
Tabel 4.82 Rekapitulasi Kontrol Lendutan.....	157
Tabel 4.83 Rekapitulasi Kontrol Lendutan (Lanjutan).....	157
Tabel 4.84 Nilai Frekuensi Fundamental Lentur dan Torsi Menggunakan Program Bantu CSi Bridge.	158
Tabel 4.85 Rekapitulasi Perhitungan Amplitudo dan Percepatan.	165

Tabel 4.86 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Momen Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.	171
Tabel 4.87 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Aksial Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.	172
Tabel 4.88 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Geser Vertikal Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.....	173
Tabel 4.89 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Torsi Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.	174
Tabel 4.90 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Momen Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.	175
Tabel 4.91 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Aksial Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.	177
Tabel 4.92 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Geser Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.	178
Tabel 4.93 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Tegangan Sebenarnya (Frame 487 – 501)	180
Tabel 4.94 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Tegangan Sebenarnya (Frame 503 – 518).	181
Tabel 4.95 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Tegangan Sebenarnya (Frame 520 – 534).	182
Tabel 4.96 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Tegangan Sebenarnya (Frame 536 – 550).	183
Tabel 4.97 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Terhadap Momen Monimal dan Momen Crack.....	185
Tabel 4.98 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Terhadap Momen Monimal dan Momen Crack.....	185
Tabel 4.99 Rekapitulasi Momen Pada Masing-Masing Segmen.	186
Tabel 4.100 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Masing-Masing Segmen.	188
Tabel 4.101 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Terhadap Momen Monimal dan Momen Crack.....	189
Tabel 4.102 Rekapitulasi Perhitungan Nilai V_u dan V_n pada Masing-Masing Segmen.	190
Tabel 4.103 Rekapitulasi Perhitungan Nilai V_p , V_d , dan V_i	191

Tabel 4.104 Rekapitulasi Perhitungan Retak Geser pada Badan.	194
Tabel 4.105 Rekapitulasi Perhitungan Retak Geser pada Badan (Lanjutan).	195
Tabel 4.106 Rekapitulasi Perhitungan Retak Geser Terlentur (Lanjutan).	196
Tabel 4.107 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tulangan Geser	196
Tabel 4.108 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tulangan Geser (Lanjutan).	197



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

**BAB I
PENDAHULUAN**

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Flyover merupakan struktur yang dibuat untuk menyeberangi rintangan seperti jurang, sungai, rel kereta api atau pun jalan raya. Flyover dapat dibangun untuk penyeberangan pejalan kaki, kendaraan atau kereta api di atas halangan. Flyover juga merupakan bagian dari infrastruktur transportasi darat yang sangat vital dalam aliran perjalanan (traffic flows). Flyover sering menjadi komponen kritis dari suatu ruas jalan, karena sebagai penentu beban maksimum kendaraan yang melewati ruas jalan tersebut.

Selain berfungsi untuk menyeberangi rintangan flyover juga berfungsi untuk mengurangi dampak dari kemacetan. Salah satu pengalihan fungsi flyover ini adalah menjadikannya sebagai Flyover atau jalan layang. Jalan layang sendiri adalah jalan yang dibangun tidak sebidang atau melayang untuk menghindari daerah/kawasan yang selalu menghadapi permasalahan kemacetan lalu lintas, melewati daerah dengan konflik dipersimpangan, kawasan kumuh yang sulit, ataupun melalui kawasan rawa-rawa.

Tugas akhir ini akan direncanakan flyover Flyover yang berlokasi di Ciwanda, kabupaten Cilegon, Provinsi Banten. Flyover ini akan dimodelkan dengan desain flyover tipe extrados dimana tipe ini merupakan perbandingan flyover girder dengan flyover cable stayed namun dengan menggunakan menara yang lebih pendek.



Gambar 1.1 Lokasi Perencanaan Flyover Ciwanda (Sumber: Googlemaps, 2016).

Pada flyover extradosed, dek langsung bertumpu pada bagian menara, sehingga dek pada daerah menara bertindak sebagai balok menerus. Kabel dari menara yang lebih rendah bersinggungan dengan dek yang lebih jauh serta pada sudut yang lebih rendah, sehingga dari kondisi tersebut gaya pada kabel memberi gaya tekan pada dek menuju arah horizontal.



Gambar 1.2 Salah Satu Contoh Flyover Extradosed, Flyover Twinkle Kisogawa, Jepang (Sumber: Wikipedia, 2016).

Dengan panjang flyover 425 meter ($50 + 100 + 125 + 100 + 50$), Flyover Flyover Ciwandan merupakan flyover yang mempunyai dua jalur. Tiap jalur mempunyai 2 lajur dengan lebar lalu lintas adalah 9m yang terdiri dari lebar jalan 7m, trotoar 1m. Di tiap jalur terdapat barier dengan lebar masing 0.5m. Bangunan flyover disesuaikan dengan kondisi geografis yang ada, untuk mengantisipasi kemacetan yang terdapat pada jalan Brigjen Katamso.

1.2. Perumusan Masalah

Dalam memulai tugas akhir terdapat masalah-masalah mengenai bagaimana mencapai tujuan tugas akhir. Hal-hal yang dijadikan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut, yaitu:

- a. Bagaimana cara mendapat preliminary design struktur atas dari flyover extrados?
- b. Bagaimana merencanakan struktur kabel pada pilar flyover extrados?
- c. Bagaimana merencanakan struktur kabel prategang pada flyover extrados?
- d. Bagaimana merencanakan pilon pada flyover extrados?
- e. Bagaimana hasil kontrol pembebanan sesuai dengan beban yang mengacu pada SNI 1725 2016?
- f. Bagaimana detail engineering design (DED) akhir dari flyover extrados?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan preliminary design struktur atas dari flyover extrados.
- b. Mendapatkan hasil perencanaan struktur kabel pada pilar flyover extrados.
- c. Mendapatkan hasil perencanaan struktur kabel prategang pada flyover extrados.

- d. Mendapatkan perencanaan pilon pada flyover extrados.
- e. Mendapatkan hasil kontrol pembebanan sesuai dengan beban yang mengacu pada SNI 1725 2016.
- f. Mendapatkan detail engineering design (DED) akhir dari flyover extrados.

1.4. Batasan Masalah

Mengingat terdapatnya batasan waktu dalam penyusunan tugas akhir ini maka perlu adanya batasan-batasan masalah yang dalam penyusunan tugas akhir ini. Dimana batasan masalah yang di maksud adalah pada bagian yang perencanaan, yaitu:

- a. Perencanaan flyover tidak memperhitungkan bentang pendekat.
- b. Perencanaan flyover tidak memperhitungkan ornamen secara mendetail.
- c. Perencanaan flyover tidak memperhitungkan struktur bangunan bawah.
- d. Perencanaan flyover tidak memperhitungkan anggaran biaya yang dikeluarkan.
- e. Perencanaan flyover tidak menjelaskan metode konstruksi secara mendetail.

1.5. Manfaat

Adapun manfaat yang bisa didapat dengan menyelesaikan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai salah satu syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik.
- b. Sebagai refrensi untuk Pemerintah Provinsi Banten dalam mempertimbangkan pengadaan model alternatif sarana transportasi dari Flyover Ciwanda.
- c. Memberikan sumbangsih terhadap ilmu pengetahuan dalam bidang teknik sipil secara umum dan konstruksi flyover cable extradosed secara khususnya.



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

**BAB II
TINJAUAN PUSTAKA**

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Prategang

2.1.1. Pengertian Beton Prategang

Definisi beton pratekan menurut SNI 03 – 2847 – 2013 yaitu beton struktural dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban dengan Metoda prategang dimana baja prategang ditarik sebelum beton dicor. Baja prategang sendiri adalah Elemen baja mutu tinggi seperti kawat, batang, atau strand, atau bundel elemen seperti itu, yang digunakan untuk menyalurkan gaya prategang ke beton.

2.1.2. Metode Prategang

Untuk memberikan tekanan pada beton pratekan dapat dilakukan sebelum atau setelah beton dicetak/dicor. Kedua kondisi tersebut membagi sistem pratekan menjadi *Pretension* (pratarik) dan *Post-tension* (pasca tarik).

2.1.2.1. Pratarik

Pada sistem pratarik, tendon ditarik sebelum beton dicor. Beton dicor pada cetakan yang sudah disediakan melingkupi tendon yang sudah ditarik tersebut. Tendon-tendon tersebut pada awalnya diangkurkan pada abutmen untuk sementara dan saat beton sudah mengeras dan mencapai kekuatan yang disyaratkan maka tendon dipotong dan angkurnya dilepas. Pada saat baja yang ditarik berusaha untuk berkontraksi, beton akan tertekan. Pada cara ini tidak digunakan selongsong beton.

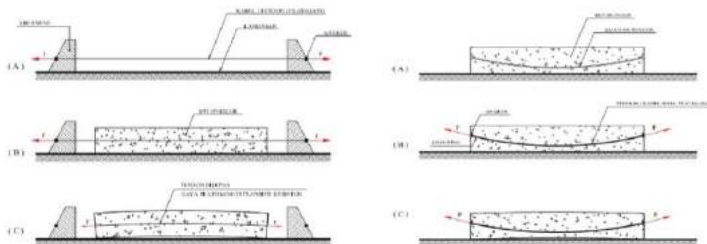
2.1.2.2. Pasca tarik

Sistem pascatarik adalah suatu sistem prategang dimana kabel ditarik setelah beton mengeras. Beton sebelumnya dicor di sekeliling selongsong yang telah disediakan. Posisi selongsong biasanya diatur sesuai dengan bidang momen dari struktur. Baja

tendon tetap berada dalam selongsong selama pengecoran dan tendon bisa ditarik disatu sisi dan sisi yang lain diangkur. Atau tendon ditarik di dua sisi dan diangkur secara bersamaan. Beton menjadi tertekan setelah pengangkuran. Untuk sistem pasca tarik saat ini banyak digunakan elemen beton pracetak yang dirancang khusus dengan lubang-lubang tendon yang telah tersedia.

Kelebihan dari sistem pasca tarik adalah posisi tendonnya dapat diatur mengikuti bidang momennya sedangkan pada sistem pratarik hanya terbatas pada penggunaan kawat lurus yang ditarik diantara dua dinding penahan. Selain itu metode ini lebih cepat dalam pengerjaannya karena menggunakan beton pracetak sehingga tidak perlu setting time beton untuk mengeras seperti halnya pada metode pratarik.

Namun dalam penggunaan sistem pasca tarik, jumlah tendon dan sistem penarikannya sangat berpengaruh terutama kepada kehilangan gaya prategangnya. Presentase kehilangan terbesar terjadi pada tendon yang pertama kali ditegangkan. Penggunaan tendon yang terlalu banyak akan menambah presentase kehilangan gaya prategang dan tidak efisien. Dengan kata lain, diameter tendon yang lebih besar dan jumlah tendon yang lebih sedikit akan lebih efisien dibandingkan diameter kecil tetapi jumlah tendonnya banyak. Pemilihan jumlah tendon dan cara penarikannya harus diperhatikan agar kehilangan gaya prategang terjadi seminimum mungkin (Sudarmono, 2004).



Gambar 2.1 Ilustrasi Cara Pengerjaan Beton Pratarik (kiri) dan Pasca Tarik (kanan) (T.Y Lin, 1996).

2.1.3. Prinsip Kerja Beton Prategang

Gaya Prategang dipengaruhi oleh momen total yang terjadi. Gaya prategang yang disalurkan harus memenuhi control batas pada saat kritis. Persamaan berikut menjelaskan hubungan antara momen total dengan gaya prategang (T.Y Lin, 1988).

$$F = T = \frac{M_T}{0,65.h} \quad (2.1)$$

Dimana :

M_T = Momen Total

h = tinggi balok.

Kemudian dengan nilai gaya prategang (F) yang didapat gaya tersebut didistribusikan ke penampang beton dengan dengan rumus berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{F.e.y}{I} \pm \frac{M_T.y}{I} \quad (2.2)$$

Dimana:

A = Luas penampang

e = Eksentrisitas beton

y = jarak serat terluar terhadap garis netral penampang

I = momen inersia penampang.

2.1.4. Kehilangan Gaya pada Beton Prategang

Kehilangan gaya prategang dapat didefinisikan sebagai berkurangnya gaya prategang dalam tendon pada saat tertentu dibanding pada saat stressing. Kehilangan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor dimana faktor tersebut terbagi dua kategori yaitu kehilangan seketika dan kehilangan akibat pengaruh fungsi waktu. Faktor-faktor tersebut antara lain (T.Y Lin, 1988):

2.1.4.1. Kehilangan gaya akibat perpendekan elastis beton

Perhitungannya kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton mengacu pada RSNI T-12-2004 ps. 6.4.2 dengan rumus sebagai berikut:

Untuk komponen pasca tarik:

$$ES = K_{es} \times E_s \times \frac{f_{cir}}{E_{ci}} \quad (2.3)$$

Dengan nilai f_{cir} adalah sebagai berikut:

$$f_{cir} = -\frac{F_o}{A} \quad (2.4)$$

Dimana :

ES = kehilangan prategang akibat perpendekan elastik beton (MPa).

K_{es} = koefisien elastis 0,5 (pascatarik).

E_s = modulus elastisitas kabel baja (MPa).

E_{ci} = modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang (MPa).

f_{cir} = tegangan beton pada c.g.s akibat gaya prategang efektif (MPa).

2.1.4.2. Kehilangan gaya akibat friksi dan wobble effect

$$F_x = F_o e^{-\mu\alpha + KL} \quad (2.5)$$

Dimana :

F_x = Gaya prategang setelah terjadi kehilangan prategang akibat gesekan (N).

F_o = Tegangan awal (N).

μ = koefisien friksi.

K = koefisien woble.

α = perubahan sudut = 8 f/L .

L = panjang tendon (m).

Tabel 2.1 Koefisien untuk Wobble Effect dan Kelengkungan (T.Y Lin, 1988).

Type Tendon	Wobble effect Coefficient		Curvature Coefficient
	K/foot	K/meter	μ /radial
Tendon in flexible metal sheathing:			
-Wire tendon	0.0010-0.0015	0.0033-0.0049	0.15-0.25
-7-wires strand	0.0005-0.0020	0.0016-0.0066	0.15-0.25
-High-strength bars	0.0001-0.0006	0.0003-0.0020	0.08-0.30
Tendon in Rigid Metal Duct			
7-wires strand	0.0002	0.00066	0.15-0.25
Pregreased tendons			
Wire tendons and 7-wire strand	0.0003-0.0020	0.0010-0.0066	0.05-0.15
Mastic-Coated Tendons			
Wire tendons and 7-wire strand	0.0010-0.0020	0.0033-0.0066	0.05-0.15

2.1.4.3. Kehilangan gaya akibat slip anker

$$ANC = \Delta f_s = \frac{\Delta_a E_s}{L} \quad (2.6)$$

Dimana:

Δ_a = deformasi pengankuran

E_s = 200.000 MPa

2.1.4.4. Kehilangan gaya akibat rangkai beton (*creep*)

Kehilangan gaya pratekan akibat rangkai beton dihitung berdasarkan buku beton prategang oleh T.Y Lin, dengan rumus sebagai berikut:

$$CR = K_{cr} \left(\frac{E_s}{E_c} \right) (f_{cir} - f_{cds}) \quad (2.7)$$

Dimana:

K_{cr} = 1,6 untuk struktur pasca tarik

f_{cir} = tegangan beton akibat gaya prategang efektif segera setelah diberi gaya prategang

f_{cds} = tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang

2.1.4.5. Kehilangan gaya akibat susut beton

Perhitungan kehilangan gaya prategang akibat susut menurut buku beton prategang oleh T.Y Lin dan Burns (1981) adalah sebagai berikut:

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH) \quad (2.8)$$

Dimana:

K_{sh} = koefisien susut (Tabel 2.2)

V = volume beton

S = luas selimut yang berhubungan dengan udara

RH = kelembaban udara

Tabel 2.2 Koefisien Jangka Waktu Setelah Curing Sampai Penerapan Prategang (T.Y Lin, 1988).

Jangka waktu setelah curing sampai penerapan prategang, hari	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{sh}	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

2.1.4.6. Kehilangan gaya akibat relaksasi baja

Kehilangan gaya pratekan akibat relaksasi baja menurut buku beton prategang oleh T.Y Lin dirumuskan sebagai berikut:

$$RE = [K_{re} - J (SH + CR + ES)] \cdot C \quad (2.9)$$

Dimana:

K_{re} , J , dan C didapat dari tabel 2.3 dan 2.4

- SH = Kehilangan gaya prategang akibat susut
 CR = Kehilangan gaya prategang akibat rangkai
 ES = Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis

Tabel 2.3 Koefisien Nilai C dan J (T.Y Lin, 1988).

f _{pi} /f _{pu}	Strand atau kawat stress relieved	batang stress relieved atau strand atau kawat relaksasi rendah
0.80		1.28
0.79		1.22
0.78		1.16
0.77		1.11
0.76		1.05
0.75	1.45	1
0.74	1.36	0.95
0.73	1.27	0.9
0.72	1.18	0.85
0.71	1.09	0.8
0.70	1	0.75
0.69	0.94	0.7
0.68	0.89	0.66
0.67	0.83	0.61
0.66	0.78	0.57
0.65	0.73	0.53
0.64	0.68	0.49
0.63	0.63	0.45
0.62	0.58	0.41
0.61	0.53	0.37
0.60	0.49	0.33

Tabel 2.4 Koefisien Nilai Kre (T.Y Lin, 1988).

Tipe Tendon	Kre (MPa)
strand atau kawat stress-relieved 1860 MPa	138
strand atau kawat stress-relieved 1720 MPa	128
kawat stress-relieved 1655 MPa atau 1620 MPa	121
strand relaksasi rendah derajat 1860 MPa	35
kawat relaksasi rendah 1720 MPa	32
kawat relaksasi rendah 1655 MPa atau 1620 MPa	30
batang stress-relieved 1000 MPa atau 1100 MPa	41

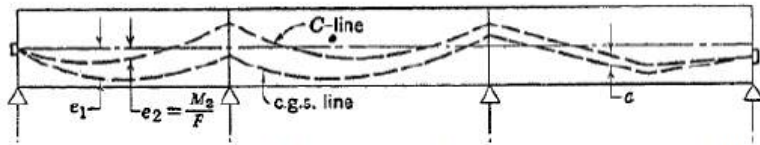
2.1.5. Prinsip Beton Prategang Menerus

Pada beton prategang, kontinuitas juga menghasilkan momen lentur yang tereduksi. Sekalipun demikian, momen lentur akibat gaya-gaya prategang yang eksentris menimbulkan reaksi sekunder dan momen lentur sekunder. Momen dan gaya sekunder ini dapat memperbesar atau memperkecil efek utama dari gaya prategang eksentris. Selain itu juga efek perpendekan elastis, susut, dan rangkai menjadi lebih besar dibandingkan struktur menerus beton bertulang (Nawy, 2001). Karena adanya reaksi atau gaya sekunder di tumpuan dalam yang disebabkan oleh prategang eksentris, maka momen semula akibat prategang akan disebut momen primer dan momen yang disebabkan reaksi sekunder disebut dengan momen sekunder. Efek dari momen sekunder adalah berpindahnya lokasi garis tekan gaya prategang.

Dalam perencanaan flyover menggunakan konstruksi beton prategang menerus dibutuhkan dua kali perhitungan dikarenakan dalam hal ini terjadi dua kondisi pembebanan yang berbeda.

1. Kondisi pertama adalah kondisi saat gelagar belum menerus atau masih dalam kondisi statis tertentu. Pada tahap ini gelagar terletak di atas dua tumpuan sederhana sehingga beban yang bekerja hanyalah beban mati yang berasal dari berat sendiri gelagar. Dan momen terbesar terjadi di tengah bentang sebesar $M = \frac{1}{8} q L^2$ dan momen di tumpuan sama dengan nol.
2. Kondisi kedua adalah saat gelagar sudah terhubung antar gelagar satu dengan gelagar lainnya sehingga struktur menjadi struktur menerus. Pada kondisi ini beban yang bekerja tidak hanya berat sendiri dari gelagar namun sudah bekerja beban hidup dan beban mati tambahan. Pada kondisi ini juga terjadi momen bolak balik, yaitu momen primer pada tengah bentang dan momen sekunder di atas tumpuan dalam. Akibat dari momen sekunder ini akan menyebabkan terjadinya perpindahan garis tangkap gaya prategang. Oleh karena itu, nantinya diperlukan perhitungan dan alternatif yang tepat untuk menangani momen sekunder yang terjadi agar tidak

merugikan. Alternatif yang dapat diambil bisa dengan melakukan penambahan kabel tendon pratekan atau dengan cara melakukan jacking ulang dengan gaya yang lebih besar.



Gambar 2.2 Ilustrasi Perubahan Pusat Tekan (T.Y Lin, 1988).

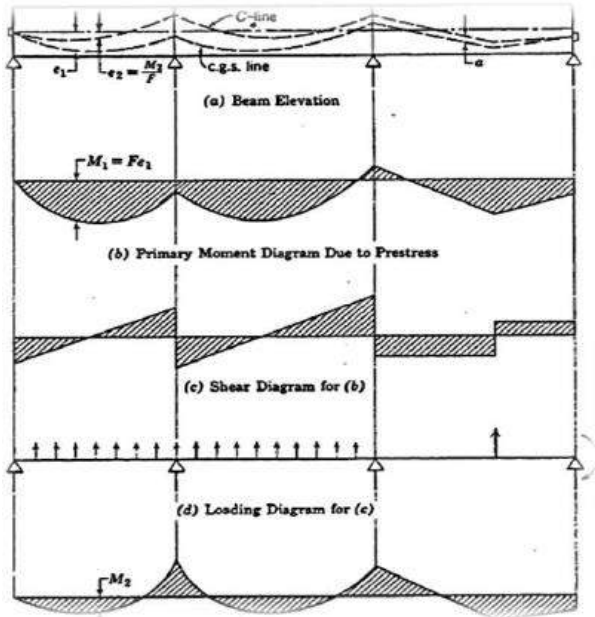
Langkah-langkah menentukan perpindahan garis tangkap gaya prategang adalah sebagai berikut:

1. Gambarkan diagram momen primer (primary moment) pada sepanjang balok menerus. Anggap tidak ada tumpuan pada kedua ujungnya. Momen yang terjadi hanya akibat eksentrisitas dan gaya prategang, dimana gaya prategang adalah konstan

$$M_1 = F \cdot e \quad (2.10)$$

2. Dari diagram momen diatas, gambarkan juga diagram gaya gesernya (bidang D).
3. Setelah itu, plotkan diagram beban sesuai dengan diagram gaya geser dan momennya
4. Setelah beban didapatkan, tentukan momen akhir yang terjadi dengan analisa mekanika teknik statis tak tentu. Momen sekunder (M2) bisa didapatkan dengan mengurangi momen akhir dengan momen primer.
5. Garis pusat tekanan bisa didapatkan dengan melakukan transformasi linear dari garis cgs dengan mendapatkan eksentrisitas yang baru (e2).

$$e_2 = M_2/F \quad (2.11)$$



Gambar 2.3 Gaya Dalam pada Proses Penentuan C-Line Baru (T.Y Lin, 1988).

2.2. Proses Perencanaan flyover

proses perencanaan flyover harus disadari bahwa flyover adalah salah satu sarana transportasi yang mampu memindahkan pengguna atau benda dari satu tempat ke tempat lainnya yang terhalang oleh rintangan seperti lembah, jurang, sungai, danau, atau pun laut. Sehingga antara flyover satu dengan lainnya belum tentu memiliki latar belakang perencanaan yang sama.

Oleh karenanya, dalam perencanaan flyover paling tidak seseorang ahli atau perancang telah mempunyai data baik sekunder atau pun primer yang berhubungan dengan latar belakang lokasi dan fungsi dari flyover tersebut.

Menurut Supryadi dan Muntohar (2007) dalam perencanaan flyover data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Lokasi:

- Topografi.
- Lingkungan: kota dan luar kota.
- Tanah dasar.
- Keperluan: melintas sungai atau melintas jalan lain.
- Bahan struktur:
 - Karakteristik
 - Ketersediaannya
- Peraturan yang berlaku.

Dengan melihat kondisi lokasi maka akan bisa disimpulkan beberapa alternatif jenis flyover yang akan digunakan dengan berbagai aspek-aspek kelayakan yang mendukung perencanaan tersebut. Hal berikutnya yang dapat dilakukan adalah menentukan jenis flyover yang memiliki aspek kelayakan yang tepat dengan tujuan dibangunnya flyover dan telah disesuaikan dengan kondisi lingkungannya.

Dalam buku *Prestressed Concrete Analysis and Design* karya Antonie E. Naaman, keuntungan flyover beton pratekan adalah sebagai berikut:

- Pemeliharaan yang minimal (minimum maintenance)
- Mempunyai ketahanan yang tinggi (increased durability)
- Mempunyai nilai estetika yang baik

Kontinuitas pada konstruksi beton pratekan menurut Krishna Raju (1989) dalam bukunya *Beton Prategang* menguntungkan dalam banyak hal, meliputi:

- Reduksi ukuran batang yang menghasilkan struktur yang lebih ringan
- Lendutannya kecil bila dibandingkan dengan bentang tumpuan sederhana
- Momen lentur lebih terbagi sama antara tengah-tengah bentang dengan tumpuan
- Pada gelagar pasca tarik menerus, kabel-kabel yang melengkung dapat ditempatkan secara baik

2.3. Flyover Extradosed

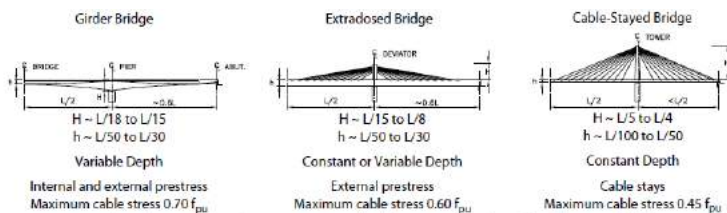
2.3.1. Pengertian Flyover Extradosed

Dari tahun 1994 hingga 2008, lebih dari lima puluh flyover extradosed telah dibangun di seluruh dunia dan selain itu lebih disukai karena proporsi dan pengaturan kabel telah berevolusi dalam mempertimbangkan keindahan arsitekturan.

Meskipun ada banyak artikel yang tersedia pada desain flyover extradosed tertentu, namun sangat sedikit desain yang telah diterbitkan untuk khalayak umum. Namun dari sistem yang digunakan secara umum dapat dilihat bahwa flyover extradosed merupakan flyover dengan kombinasi dari flyover pelat girder yang diperkuat oleh perkuatan prategang dan flyover cable stayed.

2.3.2. Penentuan Dimensi pada Flyover Extradosed

Flyover Extradosed biasanya memiliki ketinggian menara kurang dari seperdelapan bentang utama dengan kecenderungan kabel sekitar 17 derajat. Kecenderungan derajat kabel yang kecil pada flyover extradosed menyebabkan peningkatan beban aksial di dek dan penurunan komponen gaya vertikal pada angker kabel. Dengan demikian, fungsi extradosed kabel ini juga untuk pratekan dek, tidak hanya untuk memberikan dukungan vertikal seperti pada flyover cable stayed.

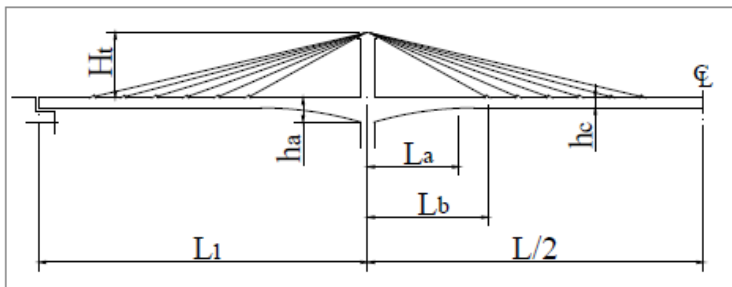


Gambar 2.4 Gambar perbandingan dimensi pada flyover girder, extradosed, dan cable-stayed (Mermigas, 2008).

Terdapat banyak keuntungan dari flyover extradosed untuk bentang kurang dari 200 meter. Dikarenakan perbandingan

beban hidup terhadap beban tetap kecil (Mathivat, 1988 dalam Mermigas, 2008) maka kabel pada flyover dapat disimpangkan pada pilar dengan cara dipelanakan.

Menurut Chio (2000 dalam Benjumea, 2010), untuk flyover extradosed dengan bentang utama (L) dan parabola jenis haunchig, dengan meningkatkan hubungan antara tinggi dek di bagian dukungan pilar (h_a) dan tinggi dek di bentang tengah (h_c), kabel penggantung pertama dapat ditempatkan lebih jauh dari tiang (L_b) dan ketegangan pada kabel tersebut berkurang. Penyesuaian panjang dek (L_a) tidak relevan pada variasi kabel penggantung. Namun, peningkatan rasio dek $\frac{h_a}{h_c}$ dan $\frac{L_a}{L}$, menghasilkan defleksi yang lebih rendah dan meskipun ada sedikit peningkatan kekuatan regangan di bagian pilar.



Gambar 2.5 Dimensi nomenklatur untuk dek corbelling (Chio, 2000).

Dikarenakannya tegangan yang terjadi pada kabel penggantung yang diletakan dekat dengan dengan pilar tidak efektif pada pemasangan tipe fan, maka Chio (2000 dalam Benjumea, 2010) merekomendasikan bahwa jarak kabel pertama (L_b) harus ditetapkan diantara $0,18 L$ dan $0,25 L$ dari tengah bentang.

2.3.3. Penentuan Dimensi Penampang pada Flyover Box Girder

Pemilihan penampang akan tergantung terutama pada lebar jalan, apakah itu didukung oleh satu atau dua sisi kabel, dan kedalamannya flyovernya. Estetika juga memainkan peran penting dalam pemilihan dan pembentukan penampang.

Penentuan dimensi penampang flyover mengikuti persyaratan – persyaratan yang telah diatur oleh AASTHO LRFD Beidge Specification. Selain menentukan tinggi superstructure dalam perencanaan flyover balance kantilver precast box girder juga ditentukan penampang box gider yang meliputi:

a. Tebal pelat sayap.

Penentuan pelat sayap kantilever membutuhkan tebal minimum 0.20 m hingga 0.22m. Untuk panjang kantilver kurang dari 0.6 m maka tebal akar kantilver dapat ditentukan sebagai berikut:

$$tc = \frac{Lc}{5} \times 12 \geq tip \quad (2.12)$$

Sedangkan untuk panjang kantilver antara 0.6m hingga 2.5m maka tebal akar pelat kantilever dapat ditentukan sebagai berikut:

$$tc = 12 + (Lc - 5) \quad (2.13)$$

Dimana:

Lc = Panjang kantilever sayap (ft)

tip = Tebal cantilever sayap tip (in)

tc = Tebal kantilever sayap pada akar kantilver

b. Tebal pelat dinding

AASHTO LRFD menentukan tebal dinding badan total harus memperhatikan persyaratan – persyaratan sebagai berikut:

- Persyaratan geser dan torsi untuk menahan beban vertikal dan torsi,
- Hubungan antara jarak badan dengan tebal pelat atas,
- Menyediakan area yang cukup untuk kabel prategang untuk mencapai eksentrisitas yang diinginkan.

AASHTO LRFD tidak menyediakan verifikasi batasan layan untuk tegangan geser pada badan box kantilever. Akan tetapi pendekatan mekanika tegangan geser dapat dipakai sebagai awalan untuk menentukan ketebalan badan post-tensioned box girder. Sebagai langkah awal menentukan tegangan geser yang terjadi akibat beban mati adalah sebagai berikut:

$$\tau_{DL} = \frac{V_{Q_0}}{I_{btotal}} = \frac{p_{DL} L_{max}}{2(0.8hb_{total})} \quad (2.14)$$

Sehingga nilai dari b_{total} adalah sebagai berikut:

$$\tau_{DL} b_{total} = \frac{p_{DL} L_{max}}{2(0.8h \cdot \tau_{allow})} \quad (2.15)$$

Dimana:

p_{DL} = beban mati dari box girder

L_{max} = panjang maximum flyover

h = tebal dari box girder

b_{total} = Lebar total dari badan pada titik pusat box girder

Q_0 = Momen pada luasan diatas atau dibawah garis netral

c. Tebal pelat dinding

Dalam menentukan tebal slab AASTHO mensyaratkan bahwa ketebalan pelat atas dapat didekati sebagai berikut

$$\frac{L_{clear}}{14} < t_{slab} < \frac{L_{clear}}{17} \quad (2.16)$$

Dimana L_{clear} adalah lebar bersih penampang box girder.

2.4. Metode-metode Pelaksanaan Konstruksi Flyover Box Girder

Pada flyover box girder terdapat beberapa metode konstruksi yang dapat digunakan dimana beberapa dari metode tersebut yaitu:

a. Menggunakan metode perancah (*Falsework*)

Perancah terdiri dari struktur sementara yang digunakan dalam konstruksi untuk mendukung spanning atau struktur melengkung dalam menahan komponen di tempat sampai konstruksinya mampu untuk mendukung dirinya sendiri. Perancah biasanya digunakan untuk konstruksi Cast in situ atau cor ditempat. Menurut *British Standards* praktek untuk perancah, BS 5975: 1982, mendefinisikan perancah sebagai "Setiap struktur sementara yang digunakan untuk mendukung struktur permanen hingga akhirnya mampu berdiri sendiri."

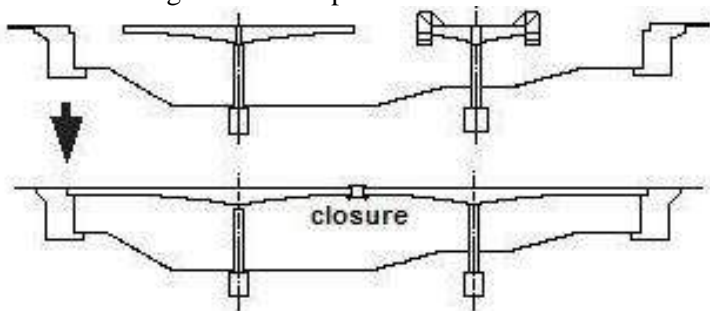


Gambar 2.6 Pengaplikasian sistem perancah pada konstruksi flyover. (Sumber: wikipedia.org)

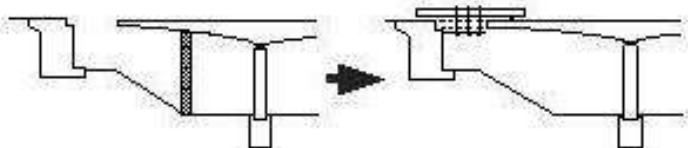
b. Menggunakan metode *balance cantilever*

Metode ini dipilih jika flyover memiliki beberapa bentang yang berkisar dari 50 sampai 250 m. Konstruksi dimulai pada

setiap pilar flyover. Metode ini dimulai dengan memposisikan bekisting khusus. Segmen pilar kemudian digunakan sebagai platform ereksi dan basis peluncuran untuk semua bekisting perjalanan berikutnya dan konstruksi segmen beton. Cast-in-situ segmen berkisar antara tiga meter hingga lima meter dengan bekisting yang bergerak bersama-sama dengan setiap segmen. Konstruksi segmen dilanjutkan sampai titik tengah terbagung dimana seimbang untuk ditutup.



Typical construction sequence



Temporary pier Closure of end cantilever

Gambar 2.7 Ilustrasi pengerjaan metode *balance cantilever*
(sumber: <http://theconstructor.org/>)

2.5. Idealisasi Struktur

Pemodelan elemen struktur dilakukan agar perilaku flyover dapat dianalisis dan masih dalam ketepatan yang cukup dan perhitungan pada kepentingan struktur dan tingkat

perencanaan yang diinginkan. Permodelan ini dapat berupa sistem bidang (*plane frame model*) atau ruang (*space frame model*), meliputi seluruh struktur atau sebagian dan dapat melibatkan sejumlah besar elemen tergantung kerumitan struktur (Walther, 1988).

Pemodelan dengan sistem bidang digunakan menggambarkan perilaku flyover *cable-stayed* akibat beban hidup sederhana. Sistem ini digunakan pada tahap awal perencanaan dimana seluruh elemen digambarkan sebagai batang. Salah satu kesulitan terletak pada penggambaran hubungan antara menara dengan gelagar.

Pada kasus penting dan khusus untuk flyover yang memiliki nilai ekonomi yang sangat tinggi pemodelan dengan sistem ruang perlu dilakukan agar banyak analisis yang dapat diselesaikan meliputi berbagai aspek. Efek angin, gradian temperatur efek transversal pada menara, pengaruh beban yang tidak simetri pada flyover tertentu dapat dianalisis dengan sistem ruang.

2.5.1. Analisis Frekuensi Lentur Fundamental

Untuk penentuan frekuensi lentur fundamental dapat dilakukan dengan nilai pendekatan sesuai dengan persamaan (Walther, 1988):

$$fb = \frac{1,1}{2\pi} \left(\frac{g}{V_{max}} \right)^{1/2} \quad (2.17)$$

Dimana V_{max} adalah lendutan maksimum akibat berat sendiri dan g adalah percepatan gravitasi. Sedangkan frekuensi alam akibat torsi dibagi menjadi dua keadaan sebagai berikut:

a). Untuk rantai kendaraan fleksibel (penampang terbuka, sistem balok induk, melintang dan memanjang):

$$f_t = \frac{\bar{b}}{2r} f_b \quad (2.18)$$

Dimana:

\bar{b} = jarak melintang penopang (kabel)

r = jari-jari girasi penampang LK

b). Untuk rantai kendaraan kaku (penampang tertutup, misal box):

$$f_t = \frac{1}{2L} \left(\frac{GJ_t}{J_p} \right)^{1/2} \quad (2.19)$$

J_p = inersia polar per satuan panjang rantai kendaraan.

J_t = konstanta torsi.

GJ_t = kekakuan torsi penampang rantai kendaraan.

L = Bentang utama flyover.

2.5.2. Analisis Stabilitas Aerodinamis

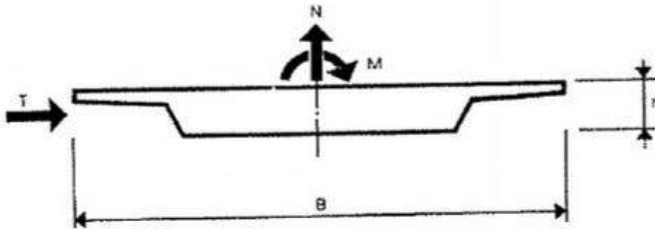
Akibat adanya angin, rantai kendaraan akan dianalisis terhadap tiga jenis gaya statis yaitu:

- a. Komponen gaya horizontal (T)
- b. Komponen gaya vertikal (N)
- c. Momen torsi Torsi (M)

Nilai gaya-gaya tersebut bergantung pada beberapa faktor berikut:

- a. Tekanan angin q
- b. Bentuk penampang (koefisien C_T , C_N , dan C_M)
- c. Sudut datang angin pada rantai kendaraan, α

Beban yang bekerja pada dek flyover akan seperti gambar 2.8 yaitu



Gambar 2.8 Pendekatan Aksi Beban Angin pada Dek (Walther, 1988).

Dengan:

$$T = CT.q.h.l \quad (2.20)$$

$$N = CN.q.h.l \quad (2.21)$$

$$M = CM.q.h.l \quad (2.22)$$

Dimana:

h = tinggi total lantai kendaraan

B = lebar lantai kendaraan

l = panjang struktur

Flutter dapat dipengaruhi oleh pusaran angin (*vortex-shedding*) dimana fenomena pusaran ini dipelajari dengan menggunakan angka Reynolds (Re) dan angka Strouhal (S) yang didefinisikan sebagai persamaan berikut:

$$Re = \frac{V}{Bv} \quad (2.23)$$

$$S = \frac{fh}{v} \quad (2.24)$$

Dengan,

V = kecepatan angin

B = lebar dek

v = Viskositas kinematik udara ($\approx 0,15 \text{ cm}^2/\text{s}$)

f = frekuensi pusaran (vortices)

- h = kedalaman dek
 S = 0,20 untuk silinder dengan diameter h .
 = 0,10 – 0,20 untuk lantai kendaraan dengan tinggi h .
 = 0,10 : jika udara mengalir pada satu sisi.

Selain itu untuk mengevaluasi gaya periodik yang berhubungan dengan respon dinamik digunakan (Walther , 1988):

$$F(t) = F_o \sin \omega t \quad (2.25)$$

Dimana:

- ω = frekuensi pusaran (Re, S)
 F_o = $(\rho V^2/2)Ch$
 P = massa udara ($\approx 1,3 \text{ kg/m}^3$)
 C = koefisien karakteristik gaya angkat, tergantung V dan f

$$V(t) = \frac{\pi V k}{\delta B} \rho \frac{V^2}{2} Ch \sin \omega t \quad (2.26)$$

Dengan,

- S = pengurangan logaritma ($\approx 0,05$)
 $1/k$ = fleksibilitas beban persatuan luas permukaan dek (Fob)
 B = lebar dek

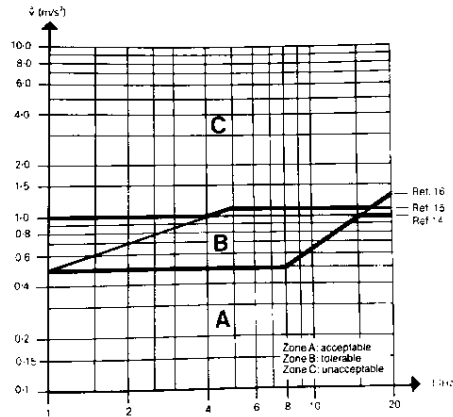
Amplitudo akibat osilasi:

$$v = \frac{\pi V k}{\delta B} \rho \frac{V^2}{2} = \frac{\pi 1 F_o}{\delta k B} = \frac{\pi}{\delta} V_{stat} \quad (2.27)$$

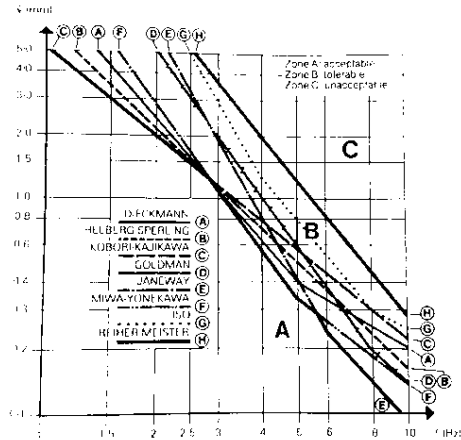
Dengan V_{stat} adalah deformasi yang menunjukkan hubungan dengan F_o .

Pada kasus dimana $V = fh/S$

$$kV = \frac{\pi 1 F_o}{\delta k B} = \frac{\pi V k}{\delta B} \rho C \frac{f^2}{2S^2} h^3 \quad (2.28)$$



Gambar 2.9 Grafik Penentuan Kelayakan Jembatan berdasarkan Percepatan dan Frekuensi (Walther, 1988).

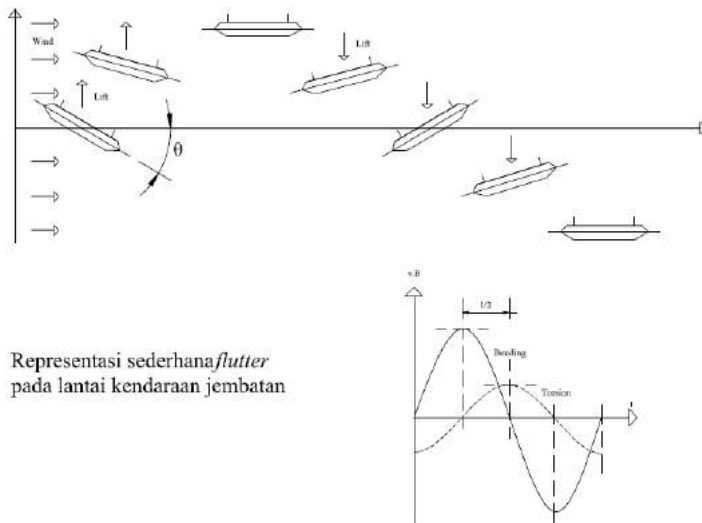


Gambar 2.10 Grafik Penentuan Kelayakan Jembatan berdasarkan Amplitudo dan Frekuensi (Walther, 1988).

Yang menunjukkan bahwa amplitudo getaran bertambah bila:

- a. Lebar dek berkurang
- b. Frekuensi f bertambah
- c. Kedalaman dek h bertambah

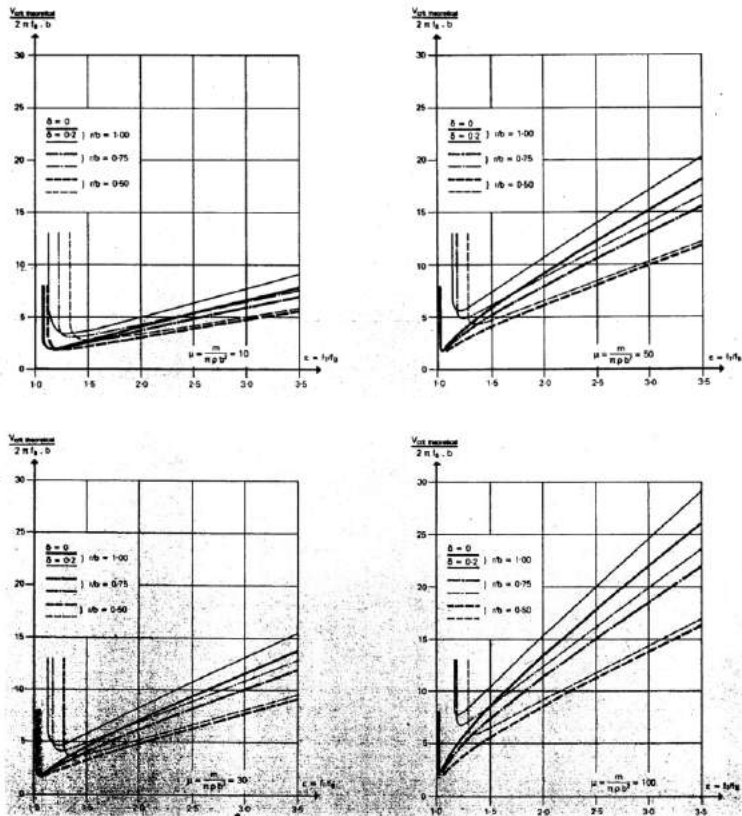
Fenomena flutter terjadi jika muncul ayunan lentur dan ayunan torsi akibat terpaan angin, dan keduanya memiliki perbedaan fase sebesar $\pi/2$. Pada kecepatan angin tertentu yang disebut kecepatan kritis, akan menghasilkan efek ini. Gabungan antara ayunan lentur dan ayunan torsi ini semakin lama akan semakin besar walaupun kecepatan kritis tetap dan akan menyebabkan runtuhnya struktur (Walther, 1988)



Representasi sederhana flutter pada lantai kendaraan jembatan

Gambar 2.11 Efek flutter dengan perbedaan fase sebesar $\pi/2$ (Walther, 1988)

Untuk mendapatkan kecepatan kritis teoritis, digunakan metode Klöppel, yang didasarkan pada teori Theodorsen yang meneliti efek flutter pada sayap pesawat. Metode ini menggunakan grafik berikut (Walther, 1988):



Gambar 2.12 Kecepatan kritis teoritis untuk flutter (Walther, 1988)

Dalam memilih grafik yang akan digunakan harus diketahui nilai μ dimana nilai tersebut dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{m}{\pi x \rho x b^2} \quad (2.29)$$

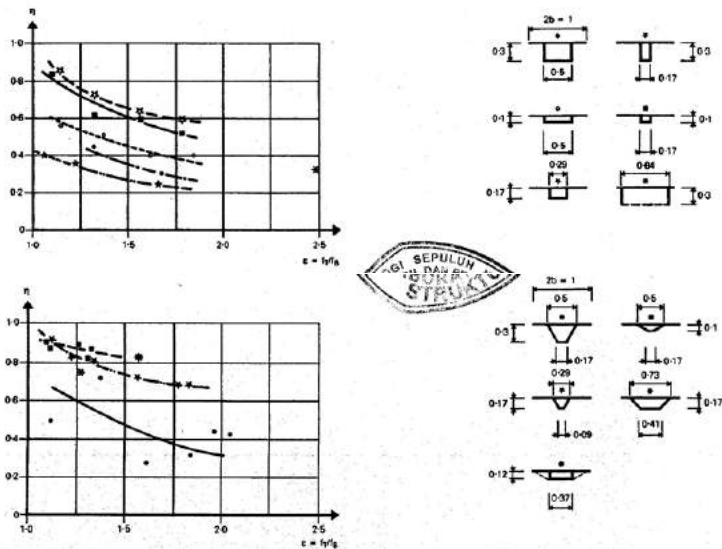
Dimana:

- m = Berat sendiri lantai kendaraan per meter lari
 ρ = Berat volume udara
 b = Setengah lebar lantai kendaraan

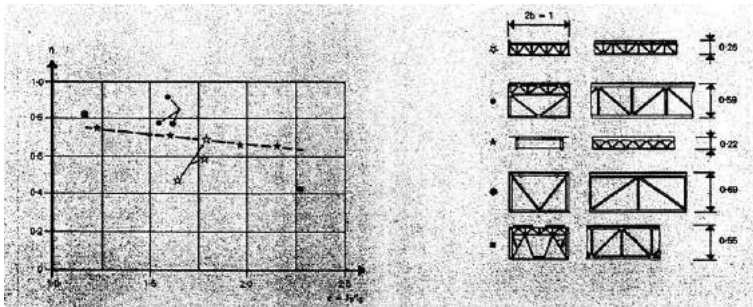
Dari grafik tersebut akan mendapatkan nilai kecepatan kritis secara teoritis yang ditunjukkan dengan rumus sebagai berikut:

$$V_{kritis-teoritis} = 2\pi \cdot f_B \cdot b \quad (2.30)$$

Dimana b adalah setengah lebar nilai kendaraan dan nilai tersebut akan bergantung pada besarnya nilai $\varepsilon = \frac{f_T}{f_B}$ dan $\frac{\delta}{B}$. Besar kecepatan kritis teoritis ini harus dikoreksi menjadi kecepatan kritis aktual menggunakan grafik berikut (Walther, 1988):



Gambar 2.13 Koefisien Koreksi η (Walther, 1988)



Gambar 2.14 Koefisien koreksi η (Lanjutan) (Walther , 1988)

Namun Pada kenyataannya, angin tidak selalu menabrak flyover dalam arah horisontal sempurna. Terkadang terdapat sudut α yang berkisar antara 3° sampai 9° (rata-rata 6°). Maka dari itu, diperlukan lagi koreksi. Untuk lantai kendaraan dengan penampang aerodinamis, koreksi ini sebesar 0.5 sehingga nilai dari kecepatan kritis aktual adalah sebagai berikut (Walther, 1988):

$$V_{kritis-aktual} = 0,5 \eta V_{kritis-teoritis} \quad (2.31)$$

Nilai harus lebih kecil dari nilai kecepatan angin rencana.



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

**BAB III
METODELOGI**

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

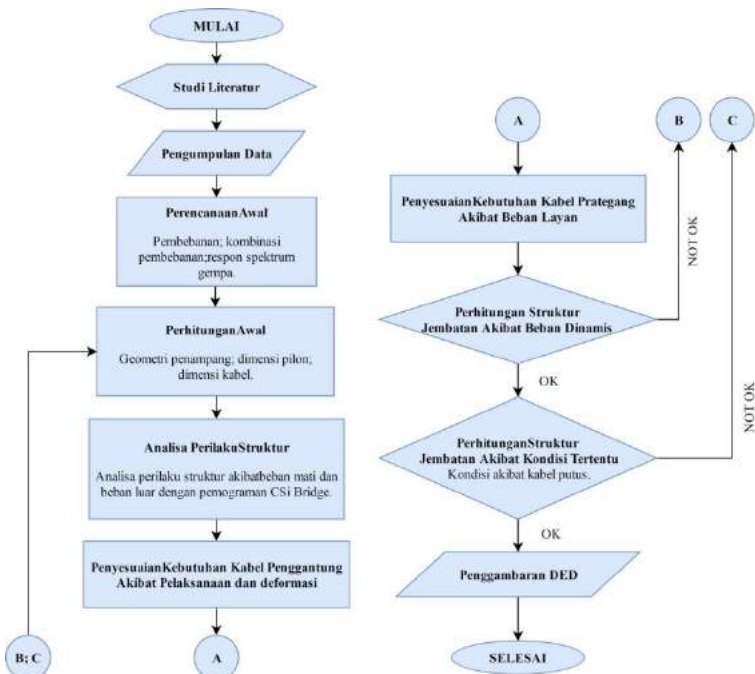
Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017

BAB III METODELOGI

3.1. Alur Diagram Metodologi

Dalam usaha mencapai tujuan pengerjaan tugas akhir ini maka perlu diterapkan sebuah metodologi yang nantinya menjadi acuan selama pengerjaannya, berikut adalah alur diagram metodologi dari pengerjaan tugas akhir perencanaan flyover flyover Ciwanda dengan permodelan flyover extrados:



Gambar 3.1 Alur diagram metodologi perencanaan flyover FO Ciwanda.

3.2. Penjelasan Diagram Alur

3.2.1. Studi Literatur

Dalam perencanaan Flyover Ciwanda ini dilakukan studi literature dimana melakukan pembelajaran mengenai ilmu-ilmu dan peraturan yang berkaitan dengan perencanaan flyover dengan tipe extrados.

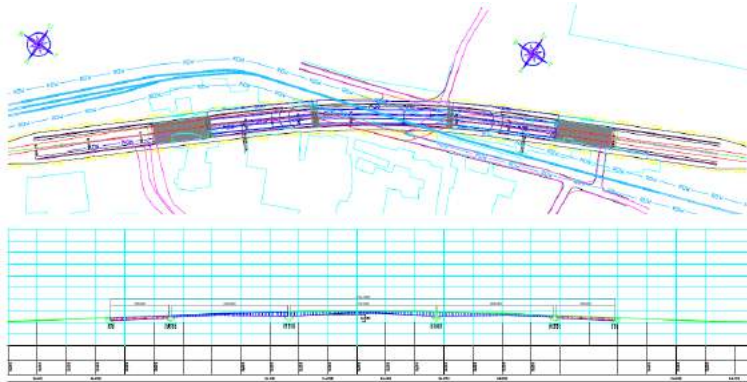
Beberapa peraturan/standar yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- SNI 1725 2016, Pembebanan untuk Jembatan,
- AASTHO LRFD Bridge Specification 2012,`
- SNI 2833: 2013, Perancangan Jembatan terhadap Beban Gempa,
- SNI T02-2005, Standar Pembebanan Untuk Jembatan 2005,
- RSNI T-12 2004, Perencanaan Struktur Beton untuk Flyover,
- PCI, Precast Prestressed Concrete Bridge Design Handbook 2004.

3.2.2. Pengumpulan Data

Dalam pengerjaan tugas akhir ini ada beberapa data yang diperlukan dalam perencanaan flyover ini seperti letak terhadap garis pantai, lokasi pembangunan, atau pun data-data seperti tinggi ruang bebas. Berikut adalah detail spesifikasi flyover flyover Ciwanda.

- Nama Flyover : Flyover Flover Ciwandan
- Lokasi : Ciwandan, Kabupaten Cilegon,
Propinsi Banten
- Kelas Flyover : A
- Lebar Flyover : 19 m
- Panjang Flyover : 435 m
 - a. Flyover Utama : 3 bentang
 - b. Flyover pendekat : 2 bentang



Gambar 3.2 Layout flyover flyover Ciwanda.

3.2.3. Perencanaan Awal

Konsep perencanaan awal ini meliputi faktor:

- Pembebanan yang akan digunakan dalam analisa perencanaan struktur flyover.
- Kombinasi pembebanan yang akan digunakan sesuai dengan aturan yang berlaku, serta
- Respon spektrum yang berlaku untuk lokasi proyek yang ditinjau.

3.2.4. Perhitungan awal

Konsep perhitungan yang ada pada perencanaan ini meliputi faktor-faktor:

- Geometri penampang,
- Dimensi pylon, serta
- Dimensi kabel yang diperlukan.

3.2.5. Analisa Perilaku Struktur

Pada bagian ini struktur flyover yang telah didesain kemudian dianalisis dengan program bantu CSI Bridge. Dimana hasil output yang digunakan adalah gaya dalam serta lendutan yang terjadi pada struktur.

3.2.6. Penyesuaian kebutuhan kabel akibat pelaksanaan dan deformasi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan terhadap kapasitas beban selama pelaksanaan serta deformasi yang terjadi. Untuk besar nilai gaya aksial yang bekerja pada flyover akan mengacu pada hasil analisa pemograman dengan program bantu Csi Bridge. Sedangkan untuk penampang dari kabel akan mengacu pada rumus berikut (Gimsing, 1983).

$$A_{sc} = \frac{P}{\frac{0,8 f_u \sin 2\theta}{2} - \gamma \cdot a} \quad (3.1)$$

Dimana:

- A_{sc} = Luas penampang kabel
- P = Beban aksial pada kabel
- λ = Jarak antar angker kabel pada gelagar
- θ = Sudut kabel terhadap horizontal
- γ = Berat jenis kabel (77,01 kN/m³)
- f_u = Tegangan putus kabel
- a = Jarak dari pylon ke angker kabel pada gelagar

3.2.7. Penyesuaian kebutuhan kabel prategang akibat beban layan

Pada tahap ini kebutuhan kabel prategang yang terjadi akan disesuaikan dengan beban layan yang terjadi. Beban layan tersebut berasal dari beban lajur lalu lintas yang terdiri dari beban lajur D (akibat beban BGT dan BTR) serta beban lajur T (akibat beban Truk) dan terdapat pengaruh gaya sentrifugal, TR dan gaya akibat rem, TB.

3.2.8. Perhitungan struktur flyover akibat beban dinamis

Pada tahap ini dilakukan analisa pada struktur flyover akibat beban dinamis (akibat gaya gempa dinamis dan akibat beban angin) yang mengacu pada SNI 2833 2013 dan SNI 1725

2016. Hasil dari analisa ini digunakan untuk menentukan penulangan yang ada pada masing-masing segmen pada flyover.

3.2.9. Perhitungan struktur flyover akibat kondisi tertentu

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kondisi dimana terdapat satu kabel penggantung yang putus dan penurunan pada pilar flyover. Hasil analisa yang didapat kemudian dibandingkan dengan hasil analisa terhadap envelope beban-beban yang telah dianalisa sebelumnya sehingga didapat nilai gaya yang akan digunakan untuk penulangan pada masing-masing segmen flyover.

3.2.10. Penggambaran DED

Tahap terakhir yang dilakukan adalah penggambaran DED dengan menggunakan program bantu autoCAD 2014.

3.3. Jadwal Perencanaan Tugas Akhir

Dalam pengerjaan tugas akhir direncanakan jadwal perencanaan tugas akhir sebagai berikut:

Tabel 3.1 Jadwal Perencanaan Tugas Akhir.

No.	Kegiatan	Bulan	Nopember				Desember			
		Minggu ke-	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur									
2	Pengumpulan Data									
3	Perencanaan Awal									
4	Perhitungan Awal									
5	Analisa Perilaku Struktur									
6	Penyesuaian Kebutuhan Kabel Penggantung Akibat Pelaksanaan dan Defleksi									
7	Penyesuaian Kebutuhan Kabel Prategang akibat Beban Layan									
8	Perhitungan Struktur Jembatan Akibat Beban Dinamis									
9	Perhitungan Jembatan Akibat kondisi Tertentu									
10	Penggambaran DED									

Pada tabel warna kuning berarti waktu pelaksanaan normal sedangkan warna merah adalah waktu antisipasi dalam pengerjaan tugas akhir. Dengan adanya waktu antisipasi ini diharapkan tugas akhir yang dikerjakan selesai tepat waktu.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

**BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN**

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Teknis Perencanaan

Perencanaan flyover yang akan dimodifikasi ulang yaitu Flyover Ciwanda yang berlokasi di Ciwanda, Kabupaten Cilegon, Provinsi Banten. Dalam perencanaan ini akan digunakan tipe konstruksi flyover extradosed yang merupakan kombinasi antara sistem pratekan dengan sistem cable stayed. Data-data flyover dan bahan yang akan digunakan dalam modifikasi perencanaan ini adalah sebagai berikut:

4.1.1. Data Flyover

Bentang Flyover	: 331,00 meter
Lebar flyover	: 16,00 meter
Lebar Jalan	: 6,50 meter
Lantai Kendaraan	: 2 Lajur 2 Arah
Pembatas Jalan	: Railing baja dan beton
Tipe Gelagar Pratekan	: Box Girder
Panjang Girder	: 101,50 meter + 128,00 meter + 101,50 meter
Metode pelaksanaan	: Menggunakan perancah
Metode pengecoran	: Cor in situ

4.1.2. Data Bahan

Secara garis besar bahan-bahan yang akan digunakan dalam modifikasi perencanaan flyover yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

4.1.2.1. Beton

Mutu beton (f_c')	: 50 Mpa (K-600)
Umur beton saat jacking	: 14 hari
Mutu beton saat jacking (f_{ci})	: 44 Mpa
Elastisitas beton (E_c)	: 33234 Mpa

Elastisitas beton saat jacking (Eci) : 31176 Mpa

4.1.2.2. Baja Prategang

Jenis baja prategang : *Uncoated stress relieved 7 wire strand*

Jenis relaksasi : Relaksasi rendah

Tegangan Ult (Fpu) : 1860 Mpa

Tegangan Leleh (Fy) : 1581 Mpa (85% Fpu)

Tegangan ijin saat layan : 1023 Mpa (55% Fpu)

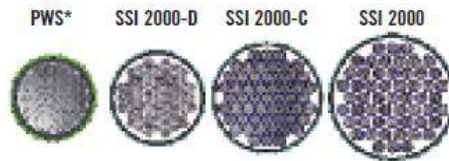
Tegangan ijin saat transfer : 1486 Mpa (80% Fpu)

Tegangan ijin sesaat pasca transfer : 1296 Mpa (70% Fpu)

Modulus Elastisitas (Es) : 195.000 Mpa

Perkiraan total kehilangan : 25%

4.1.2.3. Baja Cable Stayed



Gambar 4.1 Karakteristik Penampang Kabel VSL

Jenis baja prategang : *VSL SSI 2000-D*

Diameter per Strand : 15,20 mm

Tegangan Ult (Fpu) : 1860 Mpa

Tegangan Leleh (Fy) : 1581 Mpa (85% Fpu)

4.1.3. Tegangan Ijin Beton

Pada saat kondisi beton dalam keadaan jacking ataupun dalam keadaan layan maka harus diperhatikan tegangan yang terjadi diserat terluar beton. Pengecekan tegangan ijin beton mengacu pada SNI T-12-2004. Berikut adalah rincian dari tegangan ijin beton pada masing-masing kondisi:

4.1.3.1. Kondisi saat transfer

- **Di daerah tumpuan**

$$\text{Tegangan ijin tekan} = 0,60 f_{ci} \quad (4.1)$$

$$= 0,60 \times 44,00 \text{ Mpa}$$

$$= 26,40 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan ijin tarik} = 0,50 \times \sqrt{f_{ci}} \quad (4.2)$$

$$= 0,50 \times \sqrt{44}$$

$$= 3,32 \text{ Mpa}$$

- **Di lapangan**

$$\text{Tegangan ijin tekan} = 0,60 f_{ci} \quad (4.3)$$

$$= 0,60 \times 44,00 \text{ Mpa}$$

$$= 26,40 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan ijin tarik} = 0,25 \times \sqrt{f_{ci}} \quad (4.4)$$

$$= 0,25 \times \sqrt{44}$$

$$= 1,66 \text{ Mpa}$$

4.1.3.2. Kondisi saat layan

- **Di daerah tumpuan**

$$\text{Tegangan ijin tekan} = 0,45 f_{c'} \quad (4.5)$$

$$= 0,45 \times 50,00 \text{ Mpa}$$

$$= 22,50 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan ijin tarik} = 0,50 \times \sqrt{f_{c'}} \quad (4.6)$$

$$= 0,50 \times \sqrt{50}$$

$$= 3,54 \text{ Mpa}$$

- **Di lapangan**

$$\text{Tegangan ijin tekan} = 0,45 f_{c'} \quad (4.7)$$

$$= 0,45 \times 50,00 \text{ Mpa}$$

$$= 22,50 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan ijin tarik} = 0,50 \times \sqrt{f_{c'}} \quad (4.8)$$

$$= 0,50 \times \sqrt{50}$$

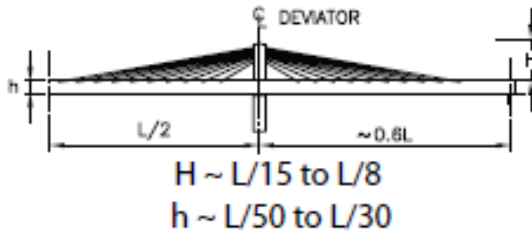
$$= 3,54 \text{ Mpa}$$

4.2. Preliminary Desain

Dalam perencanaan preliminary desain, bagian-bagian yang direncanakan adalah dimensi flyover secara keseluruhan, tebal pelat sayap, tebal dinding badan total, dan tebal Slab.

4.2.1. Preliminary Desain Flyover

Acuan dalam penentuan dimensi flyover extradosed menggunakan Gambar 4.2 di bawah ini:



Gambar 4.2 Perbandingan Tinggi Pilar dan Dek terhadap Bentang Jembatan (Mermigas, 2008).

Berdasarkan gambar tersebut dapat ditentukan:

$$\begin{aligned} \text{Tinggi pilar (H)} &= L/15 - L/8 \\ &= 128/15 - 128/8 \\ &= 8,533 \text{ m} - 16,000 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\text{Digunakan H} = 18,500 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi deck (h)} &= L/50 - L/30 \\ &= 128/50 - 128/30 \\ &= 2,560 \text{ m} - 4,267 \text{ m} \end{aligned} \quad (4.10)$$

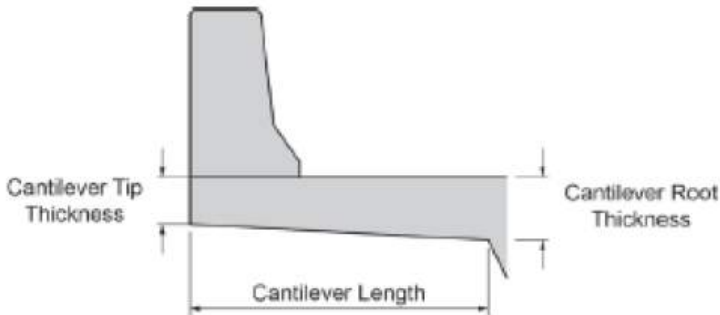
$$\text{Digunakan h} = 4,500 \text{ m}$$

4.2.2. Preliminary Desain Penampang Box Girder

4.2.2.1. Tebal Pelat Sayap

Dalam penggunaannya pelat sayap mempunyai dua fungsi sebagai structural dan estetis. Secara struktural pelat sayap

kantilver membutuhkan suatu panjang penyaluran pada tulangan atas pelat. Secara estetis suatu pelat sayap menampilkan tampilan tipis terhadap dari tinggi superstruktur.



Gambar 4.3 Dimensi pelat kantilver.

Panjang pelat sayap kantilver beton bertulang pada umumnya mulai dari 0.6 m hingga 2.5m. Panjang pelat sayap kantileler yang pendek ditentukan oleh panjang minimum yang dibutuhkan untuk panjang penyaluran penulangan pelat dan badan box girder. Sedangkan panjang pelat sayap kantilver yang panjang dapat direncanakan dengan memperhatikan durabilitas terutama kontrol retak akibat beban service. Untuk panjang pelat kantilver lebih dari 2.5m, disarankan menggunakan post-tension arah transversal.

Penentuan pelat sayap kantilver membutuhkan tebal minimum 0.20 m hingga 0.22m. Untuk penentuan tebal pelat kantilver adalah sebagai berikut

Untuk panjang kantilver kurang dari 0.6 m maka tebal akar kantilver dapat ditentukan sebagai berikut:

$$t_c = \frac{L_c}{5} 12 \geq t_{ip} \quad (4.11)$$

Sedangkan untuk panjang kantilver antara 0.6 m hingga 2.5 m maka tebal akar pelat kantilever dapat ditentukan sebagai berikut:

$$t_c = 12 + (L_c - 5) \quad (4.12)$$

Dimana

L_c = Panjang kantilever sayap (ft)

t_{ip} = Tebal cantilever sayap tip (in)

t_c = Tebal kantilever sayap pada akar kantilver

Direncanakan untuk pajang kantilever adalah 2,02 m (6,627 ft) maka. Untuk penentuan tebal akar pelat kantilever pada box girder

$$\begin{aligned} tc &= 12 + (Lc - 5) \\ &= 12 + (6,627 - 5) \\ &= 13,627 \text{ in } (0,346 \text{ m}) \end{aligned}$$

Sehingga untuk tebal akar pelat kantilever pada box gider direncanakan setebal 0,40 m.

4.2.2.2. Tebal Dinding Badan Total

AASHTO LRFD menentukan tebal dinding badan total harus memperhatikan persyaratan – persyaratan sebagai berikut:

- Persyaratan geser dan torsi untuk menahan beban vertikal dan torsi
- Hubungan antara jarak badan dengan tebal pelat atas
- Menyediakan area yang cukup untuk kabel prategang untuk mencapai eksentrisitas yang diinginkan

AASHTO LRFD tidak menyediakan verifikasi batasan layan untuk tegangan geser pada badan nox kantilever. Akan tetapi pendekatan mekanika tegangan geser dapat dipakai sebagai awalan untuk menentukan ketebalan batan post-tensioned box

girder. Sebagai langkah awal menentukan tegangan geser yang terjadi akibat beban mati adalah sebagai berikut:

$$\tau_{DL} = \frac{V_{Q0}}{I \cdot b_{total}} = \frac{P_{DL} \cdot L_{max}}{2(0,8 \cdot h \cdot b_{total})} \quad (4.13)$$

Dimana

p_{DL} = beban mati dari box girder

L_{max} = panjang maximum flyover

h = tebal dari box girder

b_{total} = Lebar total dari badan pada titik pusat box girder

Q_0 = Momen pada luasan diatas atau dibawah garis netral

Penentuan beban mati dari superstruktur dapat dihitung dengan menggunakan rata – rata ketebalan yang dihitung dari luas penampang dibagi dengan lebar flyover. Dari ketebalan rata – rata penampang maka akan didapat berat sendiri dari girder. Beban mati flyover juga meliputi pagar pembatas dan tebal aspal. Adapun untuk beban mati per meter lari ditentukan sebagai berikut:

$$P_{DL} = P_{selfweight} + P_{barrier} + P_{asphalt} \quad (4.14)$$

Dimana

$P_{selfweight}$ = Berat sendiri superstruktur per m

$P_{barrier}$ = Berat barrier per m

$P_{asphalt}$ = Berat aspal per m

Sebagai contoh perhitungannya maka direncanakan perhitungan untuk ketebalan dinding dari flyover utama. Untuk menentukan lebar total dinding badan box girder (b_{total}) dan tegangan geser yang diinginkan adalah sebagai berikut:

$$b_{total} = \frac{P_{DL} \cdot L_{max}}{2(0,8 \cdot h \cdot \tau_{DL})} \quad (4.15)$$

Dimana τ_{allow} ditentukan dengan $0.5\sqrt{f_c'}$

Sedangkan untuk perhitungan tebal badan total adalah sebagai berikut

Diasumsikan bahwa luas penampang adalah 30% dari Lebar x Kedalaman

$$\begin{aligned}
 \text{Berat girder total adalah} &= 0,30 \times 16,00 \times 4,50 \times 25 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 540,00 \text{ kN/m} \\
 \text{Berat aspal (5 cm)} &= 0,50 \times 16,00 \times 22 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 17,60 \text{ kN/m} \\
 \text{Berat barrier} &= 6,57 \text{ kN/m} \\
 \text{Total beban mati adala sebagai berikut} &= 557,60 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Maka tebal dinding adalah sebagai berikut dengan asumsi bahwa mutu beton $f_c' = 50,00 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}
 b_{total} &= pDL L_{max} / 2 \cdot (0.8h \tau_{allow}) \\
 &= 557,60 \times 128000 / 2(0,80 \times 4500 \times 0,50 \sqrt{50}) \\
 &= 2871,548 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dengan tebal kebutuhan minimal adalah 2871,548 mm serta tipe flyover adalah extradosed maka direncanakan menggunakan 2 dinding dengan tebal 458,00 mm dan 2 dinding dengan tebal 400,00 mm (total = 1716,00 mm).

4.2.2.3. Tebal Slab

Perencanaan tebal Slab didasarkan berdasarkan kemampuan plat terhadap geser ponds yang mungkin terjadi akibat beban terpusat yang dihasilkan oleh roda pada truk yang mengacu pada SNI 1725 2016. Syarat kekuatan geser yang harus

terjadi didasarkan pada SNI 03-2847-2002 dengan ketentuan sebagai berikut:

$$V_u < \phi V_c \quad (4.16)$$

Dimana

$$\begin{aligned} V_u &= T \times (1 + FPD) \times K_{TT}^U \\ &= 112,5 \times (1 + 0,30) \times 1,80 \\ &= 263,25 \text{ kN} \\ &= 263250 \text{ N} \end{aligned} \quad (4.17)$$

Untuk nilai V_c ditentukan dahulu nilai koefisien terkecil dari tiga persamaan berikut

$$\text{i.} \quad 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \quad (4.18)$$

$$\text{ii.} \quad \frac{1}{12} \left(2 + \frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} \right) \quad (4.19)$$

$$\text{iii.} \quad 1/3$$

Dimana

$$\beta_c = \frac{3,141}{1,000} = 3,143$$

$$\alpha_s = 40$$

Tebal pelat direncanakan 250,00 mm dengan selimut beton (Cc) 40,00 mm serta tulangan utama D19 sehingga

$$d = 250 - 40 - 0,5 \times 19$$

$$= 200,50 \text{ mm}$$

$$b_o = d/2 + 500 + d/2$$

$$= 700,50 \text{ mm}$$

$$d_o = d/2 + 200 + d/2$$

$$= 400,50 \text{ mm}$$

Sehingga nilai koefisien terkecil berdasarkan persamaan (4.8) dengan nilai 0,278 maka nilai V_c adalah:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \sqrt{f_c'} \cdot A_{\text{kritis}} \quad (4.20)$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling}_{\text{kritis}} (U) &= 2 \times (b_o + d_o) = 2202,00 \quad \text{mm} \\ A_{\text{kritis}} &= U \times d = 441501,00 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

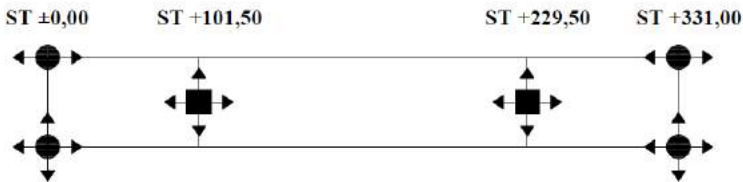
$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{3,143} \right) \sqrt{50} \cdot 441501,00 = 868435,880 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 868435,880 \\ &= 651.326,910 \text{ N} > 263.250,00 \text{ N} \quad [\text{OK}] \end{aligned}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan tebal slab 250,00 mm mencukupi kebutuhannya.

4.2.3. Rencana Perletakan pada Flyover

Karena flyover yang dihitung merupakan tipe jembatan bentang panjang maka perletakan yang akan digunakan harus diperhatikan. Dalam perencanaan flyover ciwanda direncanakan denah perletakan seperti yang ditunjukkan Gambar 4.4 di bawah ini:



Gambar 4.4 Formasi Perletakan pada Perencanaan Flyover Ciwanda (Sumber: Dokumen Pribadi).

Dengan:



= Menahan deformasi arah sejajar flyover.

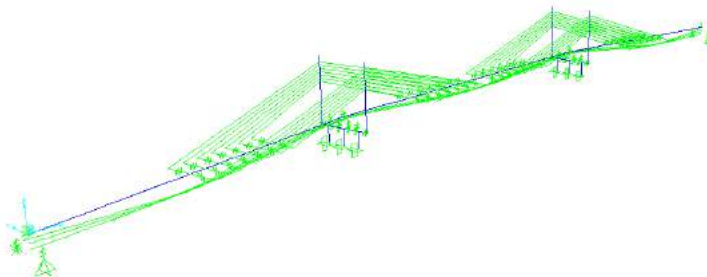


= Menahan deformasi arah sejajar dan tegak lurus flyover.

Tabel 4.1 Karakteristik penampang.

Luas penampang, A		=	13,341	m ²	=	1,33E+07	mm ²
Tinggi penampang, H		=	3,5	m	=	3500	mm
Y _n	(Dari atas, Y _a)	=	1,469	m	=	1469,3	mm
	(Dari bawah, Y _b)	=	2,031	m	=	2030,7	mm
	(Dari kanan, Y _{ka})	=	8	m	=	8000	mm
	(Dari kiri, Y _{ki})	=	8	m	=	8000	mm
Momen inersia, I _x		=	23,422	m ⁴	=	2,34E+13	mm ⁴
Momen inersia, I _y		=	224,899	m ⁴	=	2,25E+14	mm ⁴
W	W _{atas}	=	11,534	m ³	=	1,15E+10	mm ³
	W _{bawah}	=	15,941	m ³	=	1,59E+10	mm ³
	W _{kanan}	=	28,112	m ³	=	2,81E+10	mm ³
	W _{kiri}	=	28,112	m ³	=	2,81E+10	mm ³
Kern	K _{atas}	=	0,865	m	=	864,57	mm
	K _{bawah}	=	1,195	m	=	1194,91	mm
	K _{kanan}	=	2,107	m	=	2107,23	mm
	K _{kiri}	=	2,107	m	=	2107,23	mm

Dan pada Gambar 4.6 berikut ditampilkan hasil input pemrograman struktur dengan program bantu CSi Bridge.



Gambar 4.6 Hasil Input Pemrograman Struktur dengan Program Bantu CSi Bridge.

4.3. Kombinasi Beban dan Pembebanan pada Perencanaan Flyover

4.3.1. Kombinasi Beban

Berdasarkan SNI 1725 2016, kombinasi beban yang digunakan adalah 12 jenis kombinasi seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

$$\text{Kuat I} = 1,30 \text{ MS} + 1,40 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 1,80 \text{ TB} + 1,80 \text{ TD} + 1,20 \text{ EUN} + 1,00 \text{ ES}$$

$$\text{Kuat II} = 1,30 \text{ MS} + 1,40 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 1,40 \text{ TB} + 1,40 \text{ TD} + 1,20 \text{ EUN} + 1,00 \text{ ES}$$

$$\text{Kuat III} = 1,30 \text{ MS} + 1,40 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 1,20 \text{ EUN} + 1,40 \text{ EWS} + 1,00 \text{ ES}$$

$$\text{Kuat IV} = 1,30 \text{ MS} + 1,40 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 1,20 \text{ EUN}$$

$$\text{Kuat V} = 1,30 \text{ MS} + 1,40 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 1,20 \text{ EUN} + 0,40 \text{ EWS} + 1,00 \text{ EWL} + 1,00 \text{ ES}$$

$$\text{Ekstrem I} = 1,30 \text{ MS} + 1,40 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 0,30 \text{ TB} + 0,30 \text{ TD} + 1,00 \text{ ES}$$

$$\text{Ekstrem II} = 1,30 \text{ MS} + 1,40 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 0,50 \text{ TB} + 0,50 \text{ TD}$$

$$\text{Daya Layan I} = 1,00 \text{ MS} + 1,00 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 1,00 \text{ TB} + 1,00 \text{ TD} + 1,20 \text{ EUN} + 0,30 \text{ EWS} + 1,00 \text{ EWL} + 1,00 \text{ ES}$$

$$\text{Daya Layan II} = 1,00 \text{ MS} + 1,00 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 1,30 \text{ TB} + 1,30 \text{ TD} + 1,20 \text{ EUN}$$

$$\text{Daya Layan III} = 1,00 \text{ MS} + 1,00 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 0,80 \text{ TB} + 0,80 \text{ TD} + 1,20 \text{ EUN} + 1,00 \text{ ES}$$

$$\text{Daya Layan IV} = 1,00 \text{ MS} + 1,00 \text{ MA} + 1,00 \text{ PR} + 1,20 \text{ EUN} + 0,70 \text{ EWS} + 1,00 \text{ ES}$$

Dimana,

Beban permanen

MS = Beban mati komponen struktural
 MA = Beban mati perkerasan dan utilitas
 PR = Prategang

Beban transien

TB = Gaya akibat rem
 EQ = Gaya gempa
 TD = Beban lajur "D"
 TT = Beban lajur "T"
 ES = Beban akibat penurunan
 EUN = Gaya akibat temperatur seragam
 EWS = Beban angin pada struktur
 EWL = Beban angin pada kendaraan

Dalam perhitungan perencanaan flyover ini digunakan kelompok-kelompok kombinasi pembebanan seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

- Envelope Kuat dan Ekstrim → Digunakan untuk perencanaan penulangan dan pengontrolan pada tegangan serta gaya dalam yang terjadi pada struktur jembatan.
- Layan I → Penentuan gaya pada perencanaan kabel penggantung dan nilai gaya jacking serta eksentrisitas pada perencanaan penampang prategang.
- Envelope Layan → Penentuan koordinat kabel prategang serta pengontrolan pasca kehilangan gaya prategang.

4.3.2. Pembebanan pada Perencanaan Flyover

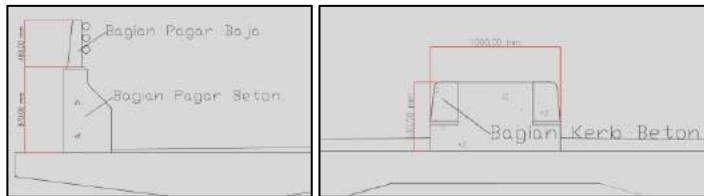
4.3.2.1. Beban mati komponen struktural serta perkerasan dan utilitas

Nilai beban mati komponen pada struktural serta perkerasan dan utilitas digunakan berdasarkan SNI 1725 2016 Pasal 7.1 Tabel 2. Dimana nilai-nilai tersebut adalah

- Berat isi beton cor ditempat(γ_c) = 23,10 kN/m³ dengan $K_{MS}^U = 1,30$ dan $K_{MS}^S = 1,00$
- Berat isi baja (γ_s) = 78,50 kN/m³ dengan $K_{MS}^U = 1,10$ dan $K_{MS}^S = 1,00$
- Berat isi aspal (γ_a) = 22,00 kN/m³ dengan $K_{MA}^U = 2,00$ dan $K_{MA}^S = 1,00$

Sehingga perhitungan untuk utilitas adalah sebagai berikut:

1. MA akibat kerb dan pagar



Gambar 4.7 Dimensi pagar (kiri) dan kerb pada perencanaan flyover (kanan).

Untuk pipa sandaran digunakan pipa baja diameter 3,00 inch (76,30 mm) dengan tebal 4,00 mm sehingga berat pipa adalah 0,0713 kN/m. Maka MA akibat kerb dan pagar adalah:

$$\begin{aligned}
 MA_I &= 2 \times (3 \times q_{\text{pipa}} + \text{Luas Kerb Beton} \times \gamma_c + \text{Luas Pagar Baja} \times \gamma_s) + \text{Luas Pagar Beton} \times \gamma_c \\
 &= 2 \times (3 \times 0,0713 + 0,64 \times 23,10 + 0,06 \times 78,50) + 0,58 \times 23,10 \\
 &= 41,14 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

2. MA akibat aspal

$$\begin{aligned}
 MA_{II} &= t_{\text{aspal}} \times L_{\text{aspal}} \times \gamma_a \\
 &= 0,135 \times 14,00 \times 22,00 \\
 &= 41,58 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

3. MA Total

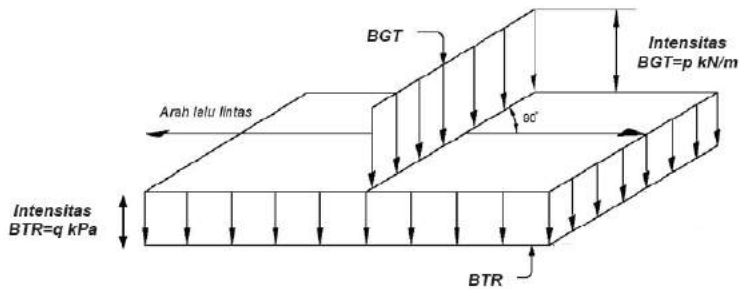
$$\begin{aligned} MA_{\text{total}} &= MA_I + MA_{II} \\ &= 41,14 + 41,58 \\ &= 82,72 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

4.3.2.2. Beban Hidup Kendaraan

Beban hidup kendaraan yang terjadi sepanjang flyover adalah beban hidup akibat beban lajur “D”, beban lajur “T”, Gaya akibat Rem, TB.

A. TD, beban lajur “D”

Beban lajur yang akan digunakan mengacu pada SNI 1725 2016 pasal 8.3.1. Pembebanan yang akan diberikan pada perencanaan flyover ini diilustrasikan seperti Gambar 4.8 berikut:



Gambar 4.8 Ilustrasi Pembebanan Beban Lajur D Menurut SNI 1725 2016.

B. Beban Terbagi Rata (BTR)

Beban terbagi rata atau BTR dipersamakan berdasarkan persamaan di bawah ini dikarenakan panjang dari bentang yang akan dibebani lebih dari 30 meter.

$$BTR = 9 \times (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \quad (4.21)$$

Untuk bentang dengan L = 101,50 m

$$\begin{aligned} \text{BTR} &= 9 \times (0,5 + 15/101,50) \\ &= 5,38 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{BTR1}} &= 5,38 \times 14,00 \\ &= 81,62 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

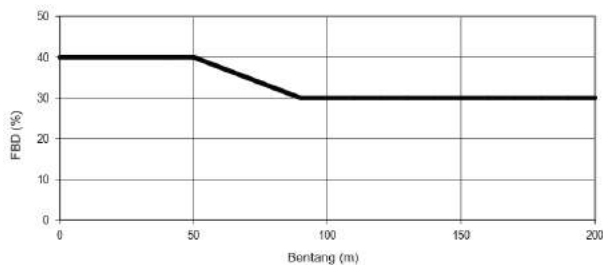
Untuk bentang dengan L = 128,00 m

$$\begin{aligned} \text{BTR} &= 9 \times (0,5 + 15/128,00) \\ &= 5,55 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{BTR1}} &= 5,55 \times 14,00 \\ &= 77,77 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

C. Beban Garis (BGT)

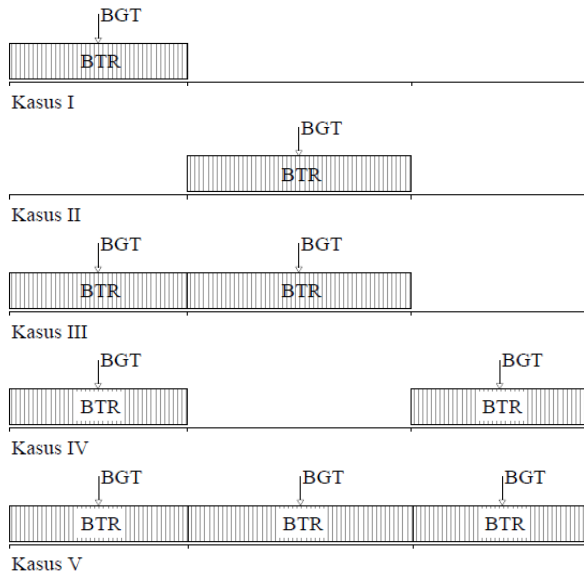
Beban garis atau BGT ditentukan berdasarkan ketentuan pada SNI 1725 2016 pasal 8.3.1 dengan nilai intensitas beban 49 kN/m serta dengan faktor pembesaran dinamis (FBD) sebesar 30,00% yang dikarenakan panjang bentang flyover yang ada lebih dari 90 meter seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 4.9 Distribusi Nilai FBD Menurut SNI 1725 2016.

D. Distribusi Beban Lajur “D”

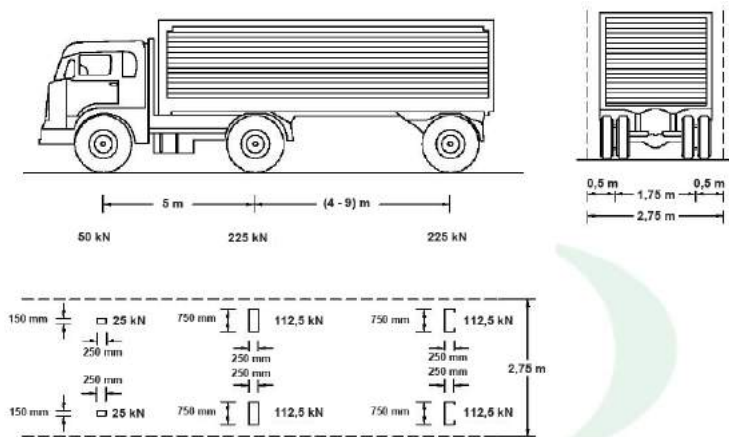
Beban lajur “D” didistribusikan secara terencana untuk mendapatkan kemungkinan gaya-gaya dalam terekstrim yang akan terjadi. Distribusi pembebanan beban lajur “D” tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 4.10 Kasus-kasus yang Direncanakan Dalam Pendistribusian Beban Lajur “D”.

4.3.2.3. TT, beban lajur “T”

Beban yang dihasilkan akibat beban lajur “T” atau TT dijelaskan dalam SNI 1725 2016 Pasal 8.4.1 serta berdasarkan SNI 1725 2016 Pasal 8.6 beban tersebut harus diperbesar dengan FBD sebesar 30,00%. Kontak bidang yang dihasilkan oleh roda pada beban ini diatur sebesar 750 mm x 250 mm. Ilustrasi pembebanan beban lajur “T” dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 di bawah ini:



Gambar 4.11 Ilustrasi pembebanan akibat beban lajur “T” sesuai dengan SNI 1725 2016.

4.3.2.4. TB, Gaya akibat beban rem

Berdasarkan SNI 1725 2016 Pasal 8.7 menyebutkan gaya akibat rem ditentukan berdasarkan nilai terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain (TB_1), atau
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (TB_2).

Sehingga perhitungan untuk gaya akibat beban rem bisa ditunjukkan seperti di bawah ini:

A. Gaya akibat beban rem kasus I (TB_1)

$$TB_1 = 25\% \times W_{\text{truk}} \times (Y_{na} + Y_b) \times n \quad (4.22)$$

Dimana,

W_{truk} = berat truk desain (550 kN)

Y_{na} = jarak serat teratas terhadap garis netral (1,469 m)

Y_b = asumsi ketinggian beban truk bekerja (1,800 m)
 n = jumlah lajur rencana (4)

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 TB_1 &= 25\% \times 550 \times (1,469 + 1,800) \times 4 \\
 &= 1797,95 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

B. Gaya akibat beban rem kasus II (TB_2)

$$TB_2 = 5\% \times (W_{\text{truk}} + q_{\text{BTR}} \times L) \times (Y_{na} + Y_b) \times n \quad (4.23)$$

Dimana,

q_{BTR} = beban lajur terbagi rata per satuan meter (kN/m)
 L = panjang bentang satu segmen flyover (m)

Sehingga,

Untuk bentang dengan panjang 101,50 meter adalah

$$\begin{aligned}
 TB_2 &= 5\% \times (550 + 81,62 \times 101,50) \times (1,469 + 1,800) \times 4 \\
 &= 1713,691 \text{ kN.m} < TB_1
 \end{aligned}$$

Dan untuk bentang dengan panjang 128,00 meter adalah

$$\begin{aligned}
 TB_2 &= 5\% \times (550 + 77,77 \times 128) \times (1,469 + 1,800) \times 4 \\
 &= 1986,571 \text{ kN.m} > TB_1
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk bentang 101,50 meter nilai beban rem adalah 1797,95 kN.m dan untuk bentang 128,00 meter nilai beban rem adalah 1986,571 kN.m.

4.3.2.5. Beban Akibat Angin

Beban akibat angin yang terjadi pada struktur diatur dalam SNI 1725 2016 Pasal 9.6 dan dibagi menjadi tiga kasus yaitu beban angin pada struktur (EWS), beban angin pada kendaraan (EWL), dan beban angin vertikal dengan arah dari bawah ke atas.

A. Beban angin pada struktur, EWS

Beban angin pada struktur diatur dalam SNI 1725 2016 Pasal 9.6.1.1 yang ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (4.24)$$

Dimana P_B adalah tekanan angin dasar seperti yang diatur dalam SNI 1725 2016 Tabel 29. Berdasarkan tabel tersebut nilai tekanan angin dasar untuk balok adalah 0,0024 Mpa sedangkan V_{DZ} adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana yang dipersamakan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right) \quad (4.25)$$

Dengan,

V_o = kecepatan angin gesekan yang tergantung pada Tabel 4.2 (19,30 km/jam)

V_{10} = kecepatan angin pada elevasi 10,00 meter dari permukaan tanah (asumsi 126,00 km/jam)

V_B = kecepatan angin rencana pada elevasi 1,00 meter (asumsi 126,00 km/jam)

Z = elevasi struktur dari permukaan tanah dengan nilai > 10,00 meter (asumsi 10,00 meter)

Z_o = Panjang gesekan di hulu flyover yang tergantung pada Tabel 4.2 (2500 mm)

Tabel 4.2 Variasi Nilai V_o dan Z_o untuk Berbagai Kondisi Permukaan Menurut SNI 1725 2016.

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_o (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_o (mm)	70	1000	2500

Sehingga nilai beban angin pada struktur adalah

$$\begin{aligned} PD &= 0,0024 \left(2,5 \times 19,30 \left(\frac{126}{126} \right) \ln \left(\frac{10}{2,5} \right) \right)^2 \\ &= 0,0013 \text{ Mpa} \\ &= 1,274 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga dengan tinggi struktur 4,50 meter nilai EWS adalah:

$$\begin{aligned} \text{EWS} &= PD \times H \\ &= 1,274 \times 4,50 \\ &= 4,46 \text{ kN/m} \end{aligned} \quad (4.26)$$

Sedangkan untuk kecepatan angin rencana nya sendiri adalah:

$$\begin{aligned} \text{VDZ} &= 2,5 \times 19,30 \left(\frac{126}{126^2} \right) \ln \left(\frac{10}{2,5} \right) \\ &= 66,89 \text{ km/jam} \\ &= 18,580 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

B. Beban angin pada kendaraan, EWL

Beban angin pada kendaraan diatur pada SNI 1725 2016 Pasal 9.6.1.2 dimana nilai dari beban angin yang bekerja pada kendaraan tergantung pada sudut datang angin. Pada perencanaan ini sudut angin yang datang dianggap 0° sehingga menghasilkan gaya paling besar seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Variasi Nilai Beban terhadap Sudut Derajat Menurut SNI 1725 2016.

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Sehingga berdasarkan nilai tersebut dapat ditentukan momen per meter yang bekerja pada flyover akibat beban angin pada kendaraan adalah sebagai berikut.

$$EWL = q_{WL} \times (Y_{na} + Y_w) \quad (4.27)$$

Dimana,

q_{WL} = beban merata akibat terpaan angin pada kendaraan (1,46 kN/m)

Y_{na} = jarak serat teratas terhadap garis netral (1,469 m)

Y_w = asumsi ketinggian beban angin bekerja (1,800 m)

Sehingga,

$$\begin{aligned} EWL &= 1,46 \times (1,469 + 1,800) \\ &= 4,77 \text{ kN.m / m} \end{aligned}$$

C. Beban angin vertikal

Beban angin vertikal diatur dalam SNI 1725 2016 Pasal 9.6.2 dengan nilai 0,0096 Mpa yang bekerja dari arah bawah menuju ke atas. Beban ini hanya ditinjau untuk batas kuat III dan layan IV. Nilai Beban angin vertikal yang bekerja pada struktur adalah sebagai berikut:

$$EWV = \sigma_{wv} \times B \quad (4.28)$$

Dimana,

σ_{wv} = tekanan angin vertikal (0,0096 Mpa)

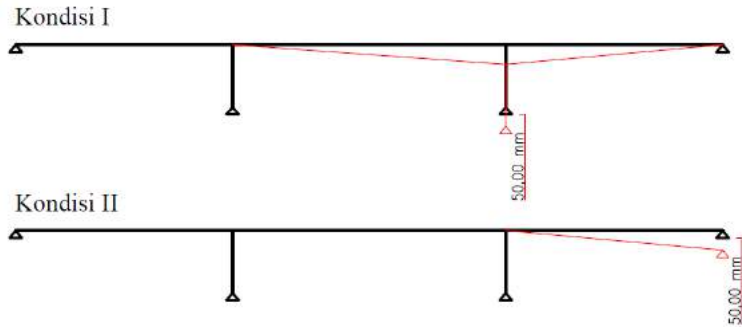
B = lebar flyover (16,00 meter)

Sehingga,

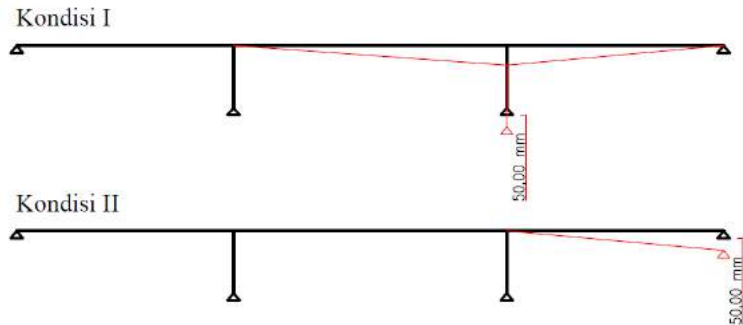
$$\begin{aligned} EWV &= 0,0096 \times 16,00 \times 10^3 \\ &= 15,04 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

4.3.2.6. Beban Akibat Penurunan, ES

Beban akibat penurunan diatur dalam SNI 1725 2016 Pasal 9.2 dimana pada perencanaan diasumsikan terhadap dua kondisi dengan masing-masing penurunan senilai 50,00 mm. Kondisi yang ada pada flyover ditunjukkan pada



Gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.12 Kondisi Perencanaan Penurunan pada Struktur Flyover (Sumber: Dokumen Pribadi).

4.3.2.7. Beban Akibat Temperatur Seragam, EUN

Beban temperatur yang ada pada struktur flyover mengacu pada SNI 1725 2016 Pasal 9.3.1 dimana pada pasal

tersebut telah diatur suhu minimum dan suhu maksimum seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.4 Kriteria Temperatur pada Struktur Flyover Menurut SNI 1725 2016.

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C
CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

Dari tabel tersebut diketahui bahwa nilai temperatur rata-rata minimum adalah 15°C dan temperatur rata-rata maksimum adalah 40°C. Kemudian dari data tersebut ditentukan nilai simpangan temperatur dengan persamaan berikut:

$$\Delta t = \alpha \cdot L (T_{\text{maksimum}} - T_{\text{minimum}}) \quad (4.29)$$

Dengan,

α = koefisien muai temperatur beton (11×10^{-6} mm/mm/°C)

L = panjang komponen flyover (128000 mm)

Sehingga nilai simpangan temperatur adalah:

$$\begin{aligned} \Delta t &= 11 \times 10^{-6} \times 128000 (40 - 15) \\ &= 35,20^\circ\text{C} \end{aligned}$$

4.3.2.8. Beban Akibat Gempa, EQ

Beban akibat gempa yang direncanakan berdasarkan SNI 2833 2013 yang khusus membahas pembebanan akibat gempa pada struktur flyover. Pembebanan akibat gempa tergantung dari lokasi perencanaan dimana lokasi perencanaan flyover bedadung berada pada titik yang digambarkan pada peta dibawah ini:



Gambar 4.13 Lokasi Perencanaan Konstruksi Flyover (Sumber: Googlemaps.com).

Sehingga berdasarkan peta zona gempa pada SNI 2833 2013 didapat data-data sebagai berikut:

Percepatan puncak di batuan dasar, $PGA = 0,40$

Periode pendek, $SS = 0,60$

Periode 1 detik, $S1 = 0,40$

Kelas situs tanah adalah SD (tanah sedang)

Berdasarkan tabel 3 dan 4 pada hal 19 SNI 2833 2013 didapat nilai F_{PGA} , F_A , dan F_V sebagai berikut:

$$F_{PGA} = 1,40$$

$$F_A = 1,40$$

$$F_V = 1,98$$

Dari data-data di atas maka akan didapat nilai respon spektrum gempa dimana nilai tersebut akan digunakan untuk membuat bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah seperti yang ditunjukkan pada gambar . Berikut adalah perhitungan nilai respon spektrum gempa:

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad (4.30)$$

$$= 1,40 \times 0,40$$

$$= 0,56 \text{ g}$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (4.31)$$

$$= 1,40 \times 0,60$$

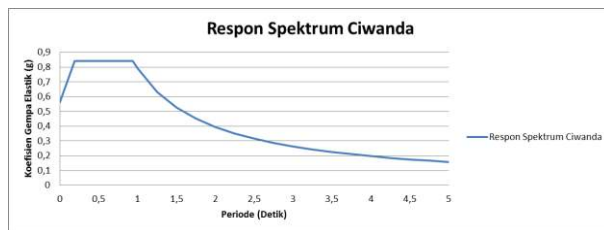
$$= 0,84 \text{ g}$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (4.32)$$

$$= 1,98 \times 0,40$$

$$= 0,79 \text{ g}$$

Dari data-data tersebut kemudian di buat grafik respon spektrum untuk lokasi di Ciwanda. Berikut adalah grafik respon spektra dipermukaan tanah:



Gambar 4.14 Koefisien Gempa Elastik, Csm (g).

Data hasil respon spektrum kemudian diinput pada program bantu dengan ketentuan dua kasus:

Kasus I : 100% Arah melintang + 30% Arah memanjang

Kasus II : 100% Arah memanjang + 30% Arah melintang

Sedangkan untuk nilai perbesaran yang terjadi tergantung terhadap nilai faktor reduksi (R) nya dimana akibat nilai respon spektrum perencanaan ini terdapat pada zona IV sehingga untuk bangunan bawah nilai R adalah 1 dan untuk bangunan atas nilai R adalah 3.

Dalam pengecekan kelayakan analisa gempa dinamis diperlukan pemeriksaan terhadap syarat dimana nilai $Q_{Dinamis} >$

0,85 Q_{Statis} . Pada SNI 2833 2013 ditentukan nilai dari Q_{statis} adalah sesuai dengan rumus berikut:

$$E_Q = \left(\frac{C_{SM}}{R} \right) \times W_t \quad (4.33)$$

Dimana:

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastik pada moda getar ke-m

R adalah faktor modifikasi respons

W_t adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Untuk pengecekan Q_{statis} terhadap Q_{dinamis} dipilih reaksi perletakan sesuai dengan gambar dibawah ini:



Gambar 4.15 Lokasi titik tinjau pengecekan gaya gempa.

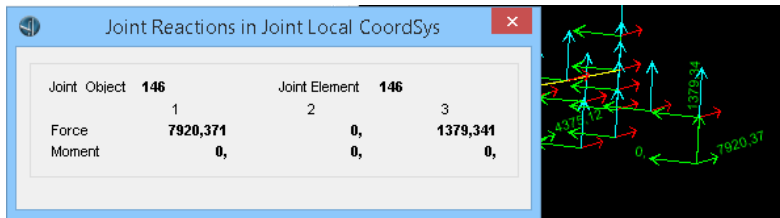
Sedangkan untuk moda analisa digunakan moda pertama dengan periode getar 1,095 Detik sehingga nilai C_{SM} adalah 0,84 g dan nilai reaksi vertikal akibat beban mati dan beban hidup tak terfaktor pada titik tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_L &= 3377,522 \quad \text{kN} \\ W_D &= 23372,761 \quad \text{kN} \\ W_T &= 26750,283 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

Sehingga nilai dari E_Q statis dengan perbesaran 104,4% (100% Arah melintang + 30% Arah memanjang) dan $R = 3$ adalah sebagai berikut:

$$E_{Q \text{ statis}} = \left(\frac{0,84}{3} \right) \times 26750,283 \times 104,4\% \\ = 7819,872 \text{ kN}$$

Berdasarkan output yang didapat dari program bantu CsiBridge nilai dari $E_{Q \text{ dinamis}}$ adalah sebagai berikut:



Gambar 4.16 Nilai yang ditunjukkan akibat beban gempa dinamis pada program bantu.

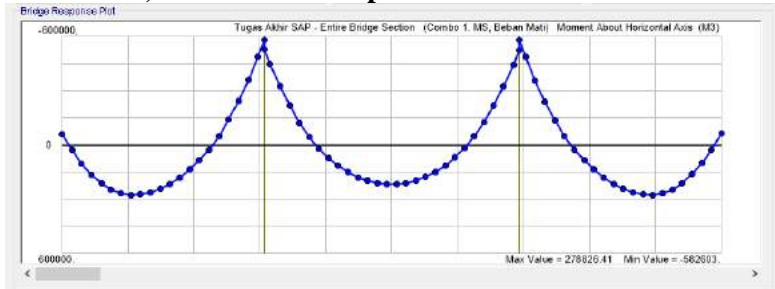
$$E_{Q \text{ dinamis}} = 7920,371 \text{ kN}$$

Sehingga nilai $E_{Q \text{ dinamis}}/E_{Q \text{ Statis}} = 1,013 > 0,85$ [OK]

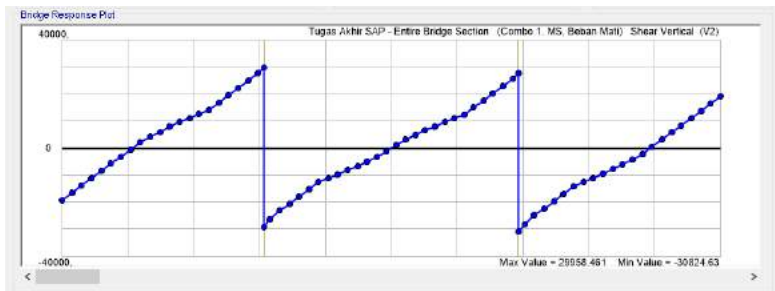
4.3.3. Output Bidang Gaya Momen M3 dan Geser V2 Hasil Analisa Program Bantu

Pada bagian ini akan ditampilkan bidang momen M3 dan geser V2 yang terjadi.

4.3.3.1. MS, Beban mati komponen struktural

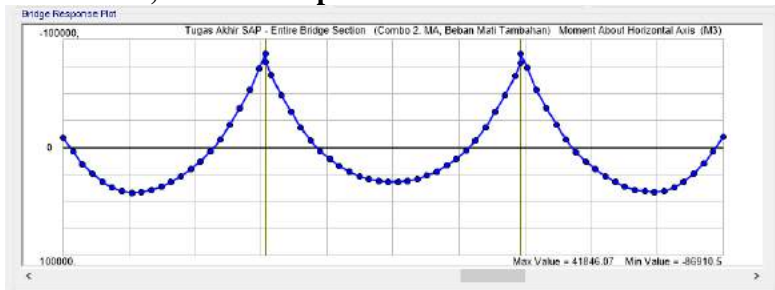


Gambar 4.17 Bidang M Akibat Beban Mati Komponen.

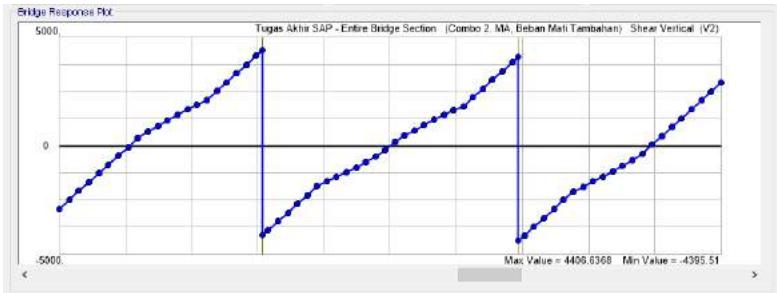


Gambar 4.18 Bidang D Akibat Beban Mati Komponen.

4.3.3.2. MA, Beban mati perkerasan dan utilitas

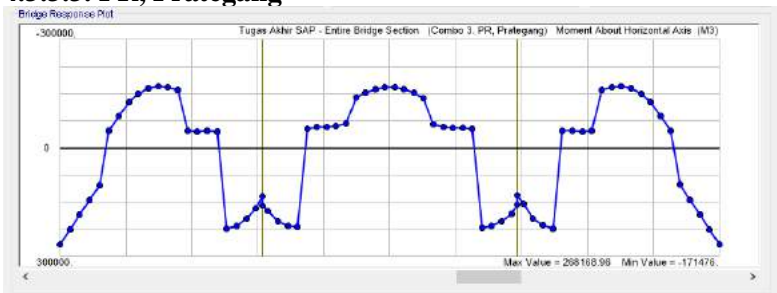


Gambar 4.19 Bidang M Akibat Beban Mati Perkerasan dan Utilitas.

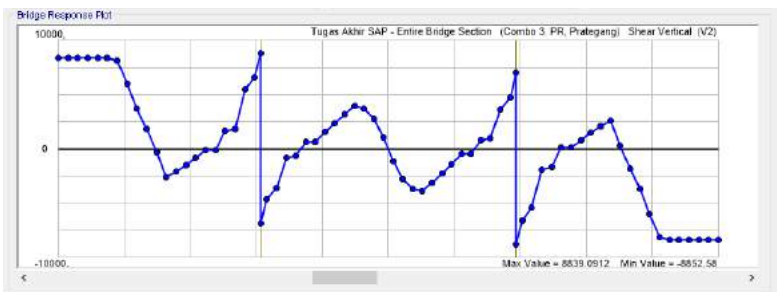


Gambar 4.20 Bidang D Akibat Beban Mati Perkerasan dan Utilitas.

4.3.3.3. PR, Prategang

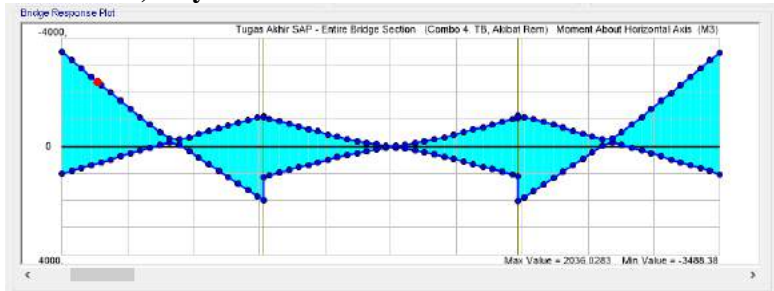


Gambar 4.21 Bidang M Akibat Beban Kabel Prategang.

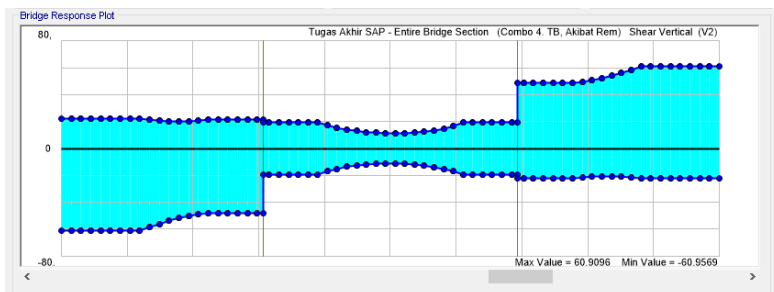


Gambar 4.22 Bidang D Akibat Beban Kabel Prategang.

4.3.3.4. TB, Gaya akibat rem

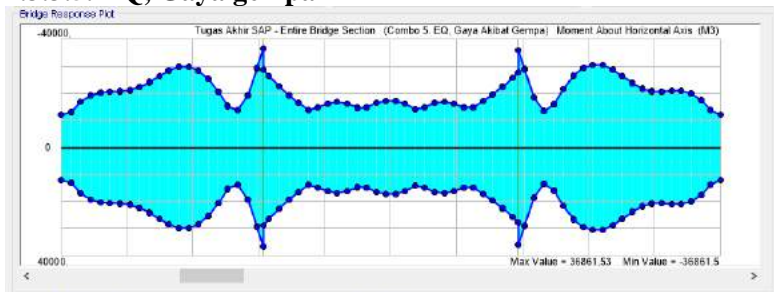


Gambar 4.23 Bidang M Akibat Beban Rem.

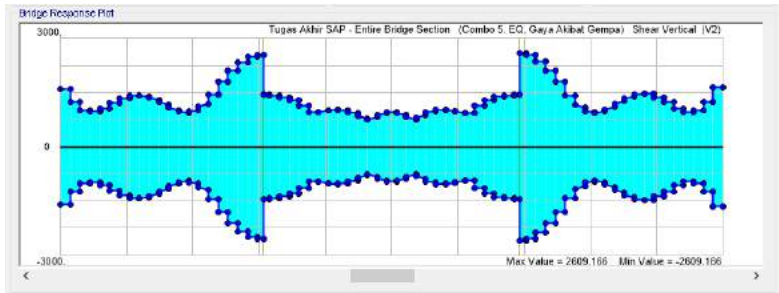


Gambar 4.24 Bidang D Akibat Beban Rem.

4.3.3.5. EQ, Gaya gempa

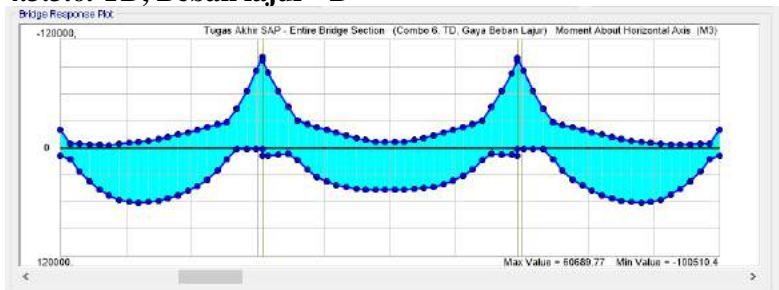


Gambar 4.25 Bidang M Akibat Beban Gempa.

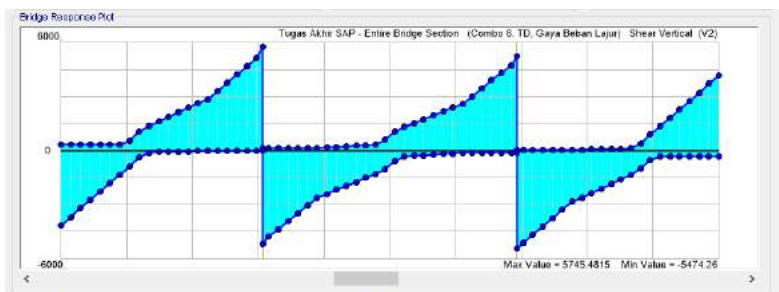


Gambar 4.26 Bidang D Akibat Beban Gempa.

4.3.3.6. TD, Beban lajur "D"

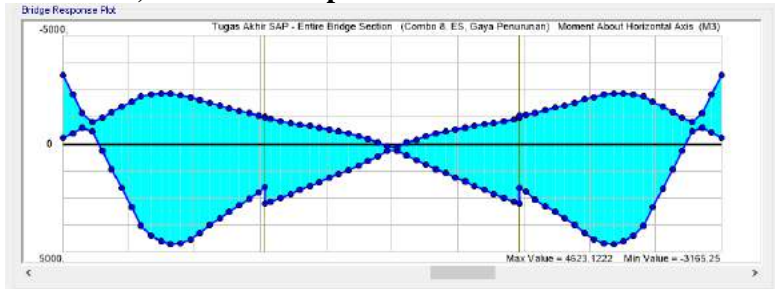


Gambar 4.27 Bidang M Akibat Beban Lajur D.

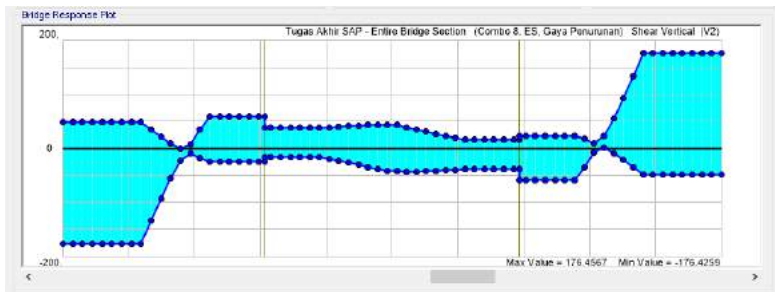


Gambar 4.28 Bidang D Akibat Beban Lajur D.

4.3.3.7. ES, Beban akibat penurunan

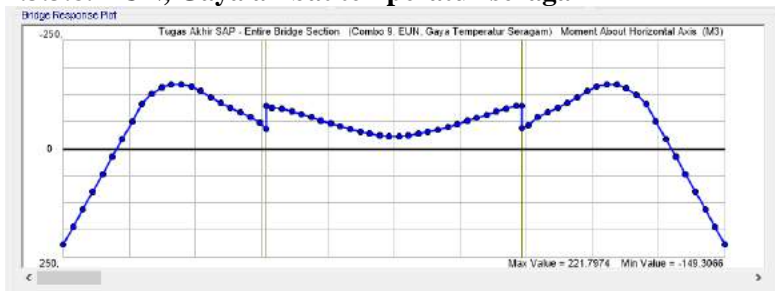


Gambar 4.29 Bidang M Akibat Beban Penurunan.

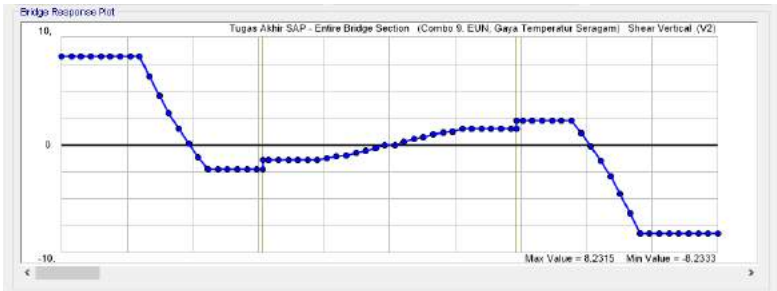


Gambar 4.30 Bidang D Akibat Beban Penurunan.

4.3.3.8. EUN, Gaya akibat temperatur seragam

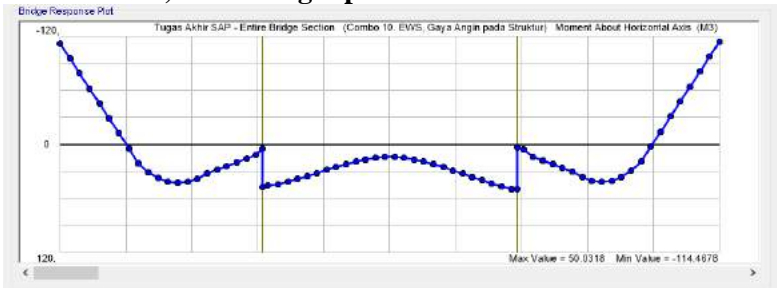


Gambar 4.31 Bidang M Akibat Beban Temperatur Seragam.

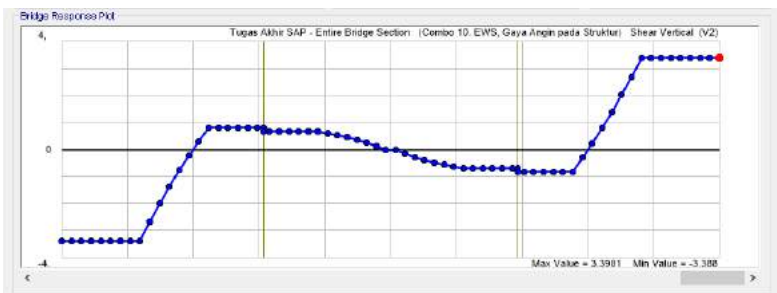


Gambar 4.32 Bidang D Akibat Beban Temperatur Seragam.

4.3.3.9. EWS, Beban angin pada struktur

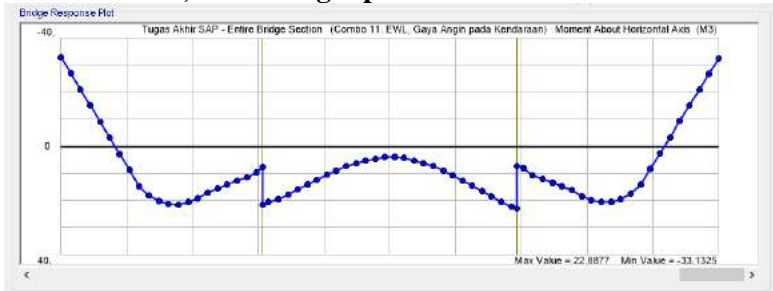


Gambar 4.33 Bidang M Akibat Beban Angin pada Struktur.



Gambar 4.34 Bidang D Akibat Beban Angin pada Struktur.

4.3.3.10. EWL, Beban angin pada kendaraan



Gambar 4.35 Bidang M Akibat Beban Angin pada Kendaraan.



Gambar 4.36 Bidang D Akibat Beban Angin pada Kendaraan.

4.3.4. Penentuan Kebutuhan Kabel Penggantung

Dalam menentukan kebutuhan kabel mengacu pada persamaan 3.1 yang bersumber dari tulisan Gimsing, 1983. Gaya yang ditahan oleh kabel merupakan beban Mati serta beban lajur "D" tak terfaktorkan. Pada perhitungan juga diperlukan letak geografis koordinat kabel. Setelah mendapatkan luas dan jumlah tendon maka ditentukan nilai modulus yang telah disesuaikan dimana dengan nilai tersebut akan didapat regangan yang akan digunakan pada pemrograman.

4.3.4.1. Letak Geografis berdasarkan Koordinat

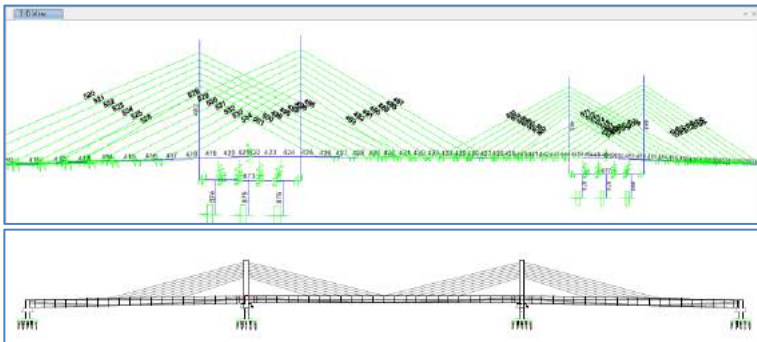
Untuk titik mulai (i) dan titik akhir (j) didapatkan melalui program bantu CSi Bridge sedangkan untuk panjangnya digunakan persamaan pitagoras seperti yang ditunjukkan dibawah ini:

$$L = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} \quad (4.33)$$

Dimana:

- L = Panjang kabel penggantung (m)
- x_j = koordinat akhir titik berdasarkan sumbu x (m)
- x_i = koordinat awal titik berdasarkan sumbu x (m)
- y_j = koordinat akhir titik berdasarkan sumbu x (m)
- y_i = koordinat awal titik berdasarkan sumbu x (m)
- z_j = koordinat akhir titik berdasarkan sumbu x (m)
- z_i = koordinat awal titik berdasarkan sumbu x (m)

Sedangkan untuk konfigurasi dari letak kabel yang digunakan pada flyover digunakan tipe semi fan seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.37 Konfigurasi semi fan pada perencanaan fly over

Dalam contoh perhitungan digunakan sampel frame dengan nomer 487 dengan data-data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x_j &= 160,498 \text{ m} \\x_i &= 101,396 \text{ m} \\y_j &= 2,087 \text{ m} \\y_i &= 0,972 \text{ m} \\z_j &= 2,030 \text{ m} \\z_i &= 17,782 \text{ m}\end{aligned}$$

Sehingga panjang kabel penggantung adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}L &= \sqrt{(160,498 - 101,396)^2 + (2,087 - 0,972)^2 + (2,030 - 17,782)^2} \\&= \sqrt{3493,046 + 1,243 + 248,113} \\&= \sqrt{3742,402} \\&= 61,175 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk panjang pada frame lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 hingga Tabel 4.12 di bawah ini:

Tabel 4.5 Koordinat Frame 487 – Frame 493

No.	Frame	Sistem Koordinat						L (m)
		Start Joint (i) (m)			End Joint (j) (m)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
1	487	101,396	0,972	17,782	160,498	2,087	2,030	61,175
2	488	101,396	0,972	16,782	155,498	2,087	2,030	56,088
3	489	101,396	0,972	15,782	150,498	2,087	2,030	51,003
4	490	101,396	0,972	14,782	145,498	2,087	2,030	45,922
5	491	101,396	0,972	13,782	140,498	2,087	2,030	40,845
6	492	101,396	0,972	12,782	135,498	2,087	2,030	35,774
7	493	101,396	0,972	11,782	130,497554	2,087	2,030	30,713

Tabel 4.6 Koordinat Frame 495 – Frame 501

No.	Frame	Sistem Koordinat						L (m)
		Start Joint (i) (m)			End Joint (j) (m)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
8	495	100,600	19,202	17,782	160,498	18,087	2,030	61,945
9	496	100,600	19,202	16,782	155,498	18,087	2,030	56,856
10	497	100,600	19,202	15,782	150,498	18,087	2,030	51,770
11	498	100,600	19,202	14,782	145,498	18,087	2,030	46,687
12	499	100,600	19,202	13,782	140,498	18,087	2,030	41,608
13	500	100,600	19,202	12,782	135,498	18,087	2,030	36,534
14	501	100,600	19,202	11,782	130,498	18,087	2,030	31,468

Tabel 4.7 Koordinat Frame 503 – Frame 509

No.	Frame	Sistem Koordinat						L (m)
		Start Joint (i) (m)			End Joint (j) (m)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
15	503	229,478	19,197	17,782	170,498	18,087	2,030	61,058
16	504	229,478	19,197	16,782	175,498	18,087	2,030	55,971
17	505	229,478	19,197	15,782	180,498	18,087	2,030	50,886
18	506	229,478	19,197	14,782	185,498	18,087	2,030	45,805
19	507	229,478	19,197	13,782	190,498	18,087	2,030	40,728
20	508	229,478	19,197	12,782	195,498	18,087	2,030	35,658
21	509	229,478	19,197	11,782	200,498	18,087	2,030	30,597

Tabel 4.8 Koordinat Frame 511 – Frame 518

No.	Frame	Sistem Koordinat						L (m)
		Start Joint (i) (m)			End Joint (j) (m)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
22	511	228,517	0,976	17,782	170,498	2,087	2,030	60,130
23	512	228,517	0,976	16,782	175,498	2,087	2,030	55,045
24	513	228,517	0,976	15,782	180,498	2,087	2,030	49,962
25	514	228,517	0,976	14,782	185,498	2,087	2,030	44,883
26	515	228,517	0,976	13,782	190,498	2,087	2,030	39,810
27	517	228,517	0,976	12,782	195,498	2,087	2,030	34,744
28	518	228,517	0,976	11,782	200,498	2,087	2,030	29,689

Tabel 4.9 Koordinat Frame 520 – Frame 526

No.	Frame	Sistem Koordinat						L (m)
		Start Joint (i) (m)			End Joint (j) (m)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
29	520	100,600	19,202	17,782	41,988	12,234	0,860	61,402
30	521	100,600	19,202	16,782	46,742	12,708	0,955	56,509
31	522	100,600	19,202	15,782	51,496	13,183	1,051	51,618
32	523	100,600	19,202	14,782	56,250	13,658	1,147	46,729
33	524	100,600	19,202	13,782	61,003	14,133	1,242	41,843
34	525	100,600	19,202	12,782	65,757	14,608	1,338	36,960
35	526	100,600	19,202	11,782	70,511	15,082	1,433	32,084

Tabel 4.10 Koordinat Frame 528 – Frame 534

No.	Frame	Sistem Koordinat						L (m)
		Start Joint (i) (m)			End Joint (j) (m)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
36	528	101,396	0,972	17,782	43,579	-3,688	0,860	60,422
37	529	101,396	0,972	16,782	48,333	-3,213	0,955	55,531
38	530	101,396	0,972	15,782	53,086	-2,738	1,051	50,641
39	531	101,396	0,972	14,782	57,840	-2,264	1,147	45,754
40	532	101,396	0,972	13,782	62,594	-1,789	1,242	40,871
41	533	101,396	0,972	12,782	67,347	-1,314	1,338	35,993
42	534	101,396	0,972	11,782	72,101	-0,839	1,433	31,121

Tabel 4.11 Koordinat Frame 536 – Frame 542

No.	Frame	Sistem Koordinat						L (m)
		Start Joint (i) (m)			End Joint (j) (m)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
43	536	229,478	19,197	17,782	288,038	11,016	0,860	61,503
44	537	229,478	19,197	16,782	283,295	11,589	0,955	56,610
45	538	229,478	19,197	15,782	278,552	12,161	1,051	51,718
46	539	229,478	19,197	14,782	273,809	12,734	1,147	46,829
47	540	229,478	19,197	13,782	269,067	13,307	1,242	41,943
48	541	229,478	19,197	12,782	264,324	13,879	1,338	37,060
49	542	229,478	19,197	11,782	259,581	14,452	1,433	32,184

Tabel 4.12 Koordinat Frame 544 – Frame 550

No.	Frame	Sistem Koordinat						L (m)
		Start Joint (i) (m)			End Joint (j) (m)			
		X	Y	Z	X	Y	Z	
50	544	228,517	0,9763	17,782	286,120	-4,869	0,860	60,321
51	545	228,517	0,9763	16,782	281,377	-4,296	0,955	55,430
52	546	228,517	0,9763	15,782	276,634	-3,723	1,051	50,540
53	547	228,517	0,9763	14,782	271,891	-3,151	1,147	45,654
54	548	228,517	0,9763	13,782	267,149	-2,578	1,242	40,771
55	549	228,517	0,9763	12,782	262,406	-2,005	1,338	35,893
56	550	228,517	0,9763	11,782	257,663	-1,433	1,433	31,022

4.2.5.2 Luas dan Kebutuhan Strand Kabel Penggantung

Setelah mendapatkan nilai panjang dari masing-masing frame, langkah berikutnya yang dilakukan adalah menentukan jumlah kebutuhan strand minimum dan nilai gaya tarik yang ada pada masing-masing kabel penggantung.

Persamaan yang digunakan mengacu pada persamaan 3.1 seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

$$Asc = \frac{(W\lambda + P) \cdot \cos \theta}{\frac{(0,8fu) \sin 2\theta}{2} - \gamma \cdot \alpha}$$

Dimana,

Asc = luas penampang kabel (mm)

W = beban mati dan beban hidup merata (N/mm)

$$= Ac \cdot \gamma_c + Q_{BTR} \quad (4.34)$$

$$= 2,25 \times 10^7 \times 23,10 \times 10^{-6} + 81,62$$

$$= 601,37 \text{ N/mm}$$

P = beban terpusat ($8,918 \times 10^5 \text{ N}$)

λ = jarak antar kabel penggantung (5000 mm)

θ = sudut antara kemiringan kabel dan bidang horizontal

$$= \tan^{-1} \frac{\text{abs}(z_i - z_j)}{\sqrt{\text{abs}(x_i - x_j)^2 + \text{abs}(y_i - y_j)^2}} \quad (4.35)$$

fu = Tegangan putus kabel (1860 Mpa)

α = Jarak kabel ke As pilar

Untuk contoh perhitungan digunakan sampel pada frame 488, dengan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x_j &= 155,498 \text{ m} \\x_i &= 101,396 \text{ m} \\y_j &= 2,087 \text{ m} \\y_i &= 0,972 \text{ m} \\z_j &= 2,030 \text{ m} \\z_i &= 16,782 \text{ m}\end{aligned}$$

Sehingga nilai sudut kemiringan kabel dan jarak kabel ke As pilar adalah

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1} \frac{\text{abs}(2,030-16,782)}{\sqrt{\text{abs}(155,498-101,396)^2 + \text{abs}(2,087-0,972)^2}} \\&= \tan^{-1} \frac{14,752}{\sqrt{2927,026+1,243}} \\&= \tan^{-1} \frac{14,752}{54,113} \\&= \tan^{-1} 0,273 \\&= 15,25^\circ \\ \alpha &= \sqrt{\text{abs}(155,498 - 101,396)^2 + \text{abs}(2,087 - 0,972)^2} \\&= \sqrt{2927,026 + 1,243} \\&= 54,113 \text{ m} \\&= 54.113,49 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dengan dua data tersebut maka bisa didapatkan nilai dari Asc yaitu:

$$\text{Asc} = \frac{(601,37 \times 5000 + 8,918 \times 105) \cdot \cos 15,25^\circ}{\frac{(0,8 \times 1860) \sin(2 \times 15,25^\circ)}{2}} - 77,01 \times 54.113,49$$

$$= 10073,10 \text{ mm}^2$$

Dengan strand tipe 6 (diameter 15,20 mm) dan akan digunakan pada kedua sisi maka bisa ditentukan jumlah kebutuhan strand adalah sebagai:

$$\begin{aligned} n_{\text{perlu}} &= A_{sc} / (2 \times D_{\text{strand}}) \\ &= 10073,10 / (2 \times 15,20) \\ &= 28 \text{ Strand} \end{aligned} \quad (4.36)$$

Melalui cara perhitungan yang sama maka dapat ditentukan jumlah kebutuhan strand masing-masing frame pada setiap kabel penggantung seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.13 hingga Tabel 4.16 dibawah ini:

Tabel 4.13 Kebutuhan Strand Frame 487 – Frame 501

No.	Frame	θ (°Derajat)	α (mm)	Asc per sisi (mm ²)	n strand per sisi	T (kN)
1	487	14,92	59112,52	5151,16	29	7831,17
2	488	15,25	54113,49	5036,55	28	7561,00
3	489	15,64	49114,66	4906,83	28	7560,87
4	490	16,12	44116,09	4758,51	27	7290,73
5	491	16,72	39117,89	4586,96	26	7020,61
6	492	17,49	34120,22	4385,92	25	6750,51
7	493	18,51	29123,35	4146,69	23	6210,41
8	495	14,73	59908,38	5217,59	29	7831,19
9	496	15,04	54909,33	5107,10	29	7831,05
10	497	15,40	49910,46	4982,09	28	7560,89
11	498	15,85	44911,85	4839,18	27	7290,75
12	499	16,41	39913,58	4673,92	26	7020,63
13	500	17,12	34915,81	4480,24	25	6750,52
14	501	18,05	29918,79	4249,73	24	6480,43

Tabel 4.14 Kebutuhan Strand Frame 503 – Frame 518

No.	Frame	θ (°Derajat)	α (mm)	Asc per sisi (mm ²)	n strand per sisi	T (kN)
15	503	14,95	58990,83	5141,02	29	7831,17
16	504	15,28	53991,8	5025,77	28	7560,99
17	505	15,68	48992,96	4895,33	27	7290,84
18	506	16,16	43994,39	4746,19	27	7290,73
19	507	16,77	38996,19	4573,68	26	7020,61
20	508	17,55	33998,52	4371,52	25	6750,51
21	509	18,58	29001,65	4130,95	23	6210,41
22	511	15,19	58030,25	5061,02	28	7561,10
23	512	15,54	53031,26	4940,82	28	7560,97
24	513	15,98	48032,47	4804,73	27	7290,82
25	514	16,51	43033,96	4649,10	26	7020,69
26	515	17,17	38035,84	4469,07	25	6750,57
27	517	18,03	33038,3	4258,10	24	6480,48
28	518	19,18	28041,63	4007,14	23	6210,40

Tabel 4.15 Kebutuhan Strand Frame 520 – Frame 534

No.	Frame	θ (°Derajat)	α (mm)	Asc per sisi (mm ²)	n strand per sisi	T (kN)
29	520	16,00	59023,93	4809,01	27	7291,10
30	521	16,26	54247,47	4726,97	27	7290,97
31	522	16,58	49471,19	4633,88	26	7020,82
32	523	16,97	44695,13	4527,13	25	6750,69
33	524	17,44	39919,4	4403,21	25	6750,61
34	525	18,04	35144,11	4257,30	24	6480,51
35	526	18,82	30369,49	4082,64	23	6210,42
36	528	16,26	58004,23	4730,54	27	7291,07
37	529	16,56	53227,81	4643,46	26	7020,91
38	530	16,91	48451,56	4544,62	26	7020,80
39	531	17,34	43675,57	4431,22	25	6750,68
40	532	17,87	38899,92	4299,54	24	6480,57
41	533	18,54	34124,75	4144,48	23	6210,47
42	534	19,42	29350,31	3958,89	22	5940,39

Tabel 4.16 Kebutuhan Strand Frame 536 – Frame 550

No.	Frame	θ (°Derajat)	α (mm)	Asc per sisi (mm ²)	n strand per sisi	T (kN)
43	536	15,97	59129,07	4817,11	27	7291,10
44	537	16,23	54352,59	4735,59	27	7290,97
45	538	16,55	49576,29	4643,10	26	7020,83
46	539	16,93	44800,22	4537,03	26	7020,72
47	540	17,40	40024,46	4413,91	25	6750,61
48	541	17,99	35249,13	4268,95	24	6480,51
49	542	18,76	30474,46	4095,42	23	6210,42
50	544	16,29	57898,85	4722,44	27	7291,07
51	545	16,59	53122,41	4634,85	26	7020,91
52	546	16,95	48346,16	4535,41	25	6750,77
53	547	17,38	43570,16	4421,32	25	6750,67
54	548	17,91	38794,49	4288,84	24	6480,57
55	549	18,59	34019,31	4132,84	23	6210,47
56	550	19,49	29244,85	3946,12	22	5940,39

4.2.5.3 Penyesuaian Nilai Modulus Elastisitas

Dalam analisa kabel penggantung pada program bantu CSi Bridge, kabel yang akan diperiksa dianggap sebagai frame lurus sehingga modulus elastisitas dari balok tersebut harus disesuaikan, penyesuaian modulus elastisitas ini didasarkan pada persamaan di bawah ini:

$$E_{eq} = \frac{E}{1 + \left(\frac{(\gamma \cdot l)^2}{12 \cdot \sigma^3 E} \right)} \quad (4.37)$$

Dimana,

E_{eq} = modulus elastisitas ekivalen

E = modulus elastisitas kabel (200.000 Mpa)

γ = berat jenis kabel (77,01 kN/m³)

σ = tegangan tarik dalam kabel (0,8fu = 1488 Mpa)

l = jarak titik gantung kabel (panjang kabel)

Sebagai contoh perhitungan digunakan sampel dengan frame bernomer 489, berikut adalah perhitungannya:

$$E_q = \frac{200.000}{1 + \left(\frac{(77,01 \times 10)^2}{12.1488^3} 200.000 \right)}$$

$$= 199.984,393 \text{ Mpa}$$

Untuk perhitungan pada model frame lainnya mengikuti cara nya yang sama dengan contoh perhitungan di atas, dari hasil perhitungan dapat dirangkum seperti tabel yang ditunjukkan pada Tabel 4.17 hingga Tabel 4.20:

Tabel 4.17 Elastisitas Ekvivalen Frame 487 – Frame 501

No.	Frame	L (m)	E _{eq} (Mpa)
1	487	61,175	199977,547
2	488	56,088	199981,126
3	489	51,003	199984,393
4	490	45,922	199987,347
5	491	40,845	199989,990
6	492	35,774	199992,321
7	493	30,713	199994,340
8	495	61,945	199976,979
9	496	56,856	199980,605
10	497	51,770	199983,920
11	498	46,687	199986,922
12	499	41,608	199989,613
13	500	36,534	199991,992
14	501	31,468	199994,059

Tabel 4.18 Elastisitas Ekuivalen Frame 503 – Frame 518

No.	Frame	L (m)	E _{eq} (Mpa)
15	503	61,058	199977,634
16	504	55,971	199981,205
17	505	50,886	199984,464
18	506	45,805	199987,412
19	507	40,728	199990,047
20	508	35,658	199992,371
21	509	30,597	199994,383
22	511	60,130	199978,308
23	512	55,045	199981,822
24	513	49,962	199985,023
25	514	44,883	199987,913
26	515	39,810	199990,491
27	517	34,744	199992,757
28	518	29,689	199994,711

Tabel 4.19 Elastisitas Ekuivalen Frame 520 – Frame 534

No.	Frame	L (m)	E _{eq} (Mpa)
29	520	61,402	199977,381
30	521	56,509	199980,842
31	522	51,618	199984,014
32	523	46,729	199986,899
33	524	41,843	199989,495
34	525	36,960	199991,804
35	526	32,084	199993,824
36	528	60,422	199978,097
37	529	55,531	199981,499
38	530	50,641	199984,613
39	531	45,754	199987,440
40	532	40,871	199989,978
41	533	35,993	199992,227
42	534	31,121	199994,189

Tabel 4.20 Elastisitas Ekvivalen Frame 536 – Frame 550

No.	Frame	L (m)	E _{eq} (Mpa)
43	536	61,503	199977,306
44	537	56,610	199980,773
45	538	51,718	199983,952
46	539	46,829	199986,843
47	540	41,943	199989,445
48	541	37,060	199991,759
49	542	32,184	199993,785
50	544	60,321	199978,170
51	545	55,430	199981,566
52	546	50,540	199984,675
53	547	45,654	199987,495
54	548	40,771	199990,027
55	549	35,893	199992,270
56	550	31,022	199994,226

4.3.4.2. Nilai Pertambahan Panjang Relatif

Dalam program bantu Csi Bridge diperlukan nilai panjang yang sebelum dan setelah terjadinya pembebanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.38 berikut ini:

	Deformed	Undeformed
Maximum Vertical Sag	45,4436	-1,346E-10
Low-Point Vertical Sag	0,	0,
Length	61401,77	61158,64
Relative Length	1,	0,996

Coordinate System

GLOBAL

Units

N, mm, C

Gambar 4.38 Nilai Panjang Relatif pada Kabel Sebelum dan Sesudah terjadi Deformasi.

Pada pemrograman di cari agar nilai panjang relatif setelah terjadi deformasi adalah 1 dengan maksud bahwa terjadi

prategang sebelum beban bekerja. Dari konsep tersebut maka ditentukan nilai panjang relatif sebelum terjadi deformasi dengan persamaan di bawah ini:

$$1 - \Delta L_{\text{relatif}} = 1 - \frac{\sigma}{E_{\text{eq}}} \quad (4.38)$$

Dimana,

E_{eq} = modulus elastisitas ekivalen

σ = tegangan tarik dalam kabel ($0,8f_u = 1488 \text{ Mpa}$)

Sehingga berdasarkan persamaan tersebut dapat dirangkum nilai dari panjang relatif sebelum terjadi deformasi adalah sebagai berikut seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.21 hingga Tabel 4.24:

Tabel 4.21 Panjang Relatif Frame 487 – Frame 501

No.	Frame	L (m)	E_{eq} (Mpa)	ϵ'	ΔL (m)	$\Delta L_{\text{Relatif}}$	$1 - \Delta L_{\text{Relatif}}$
1	487	61,175	199977,547	0,00744	0,45519	0,007441	0,9926
2	488	56,088	199981,126	0,00744	0,41734	0,007441	0,9926
3	489	51,003	199984,393	0,00744	0,37950	0,007441	0,9926
4	490	45,922	199987,347	0,00744	0,34168	0,007440	0,9926
5	491	40,845	199989,990	0,00744	0,30390	0,007440	0,9926
6	492	35,774	199992,321	0,00744	0,26617	0,007440	0,9926
7	493	30,713	199994,340	0,00744	0,22851	0,007440	0,9926
8	495	61,945	199976,979	0,00744	0,46092	0,007441	0,9926
9	496	56,856	199980,605	0,00744	0,42305	0,007441	0,9926
10	497	51,770	199983,920	0,00744	0,38520	0,007441	0,9926
11	498	46,687	199986,922	0,00744	0,34737	0,007440	0,9926
12	499	41,608	199989,613	0,00744	0,30958	0,007440	0,9926
13	500	36,534	199991,992	0,00744	0,27182	0,007440	0,9926
14	501	31,468	199994,059	0,00744	0,23413	0,007440	0,9926

Tabel 4.22 Panjang Relatif Frame 503 – Frame 518

No.	Frame	L (m)	E_{eq} (Mpa)	ε'	ΔL (m)	$\Delta L_{Relatif}$	$1 - \Delta L_{Relatif}$
15	503	61,058	199977,634	0,00744	0,45432	0,007441	0,9926
16	504	55,971	199981,205	0,00744	0,41646	0,007441	0,9926
17	505	50,886	199984,464	0,00744	0,37862	0,007441	0,9926
18	506	45,805	199987,412	0,00744	0,34081	0,007440	0,9926
19	507	40,728	199990,047	0,00744	0,30303	0,007440	0,9926
20	508	35,658	199992,371	0,00744	0,26531	0,007440	0,9926
21	509	30,597	199994,383	0,00744	0,22765	0,007440	0,9926
22	511	60,130	199978,308	0,00744	0,44742	0,007441	0,9926
23	512	55,045	199981,822	0,00744	0,40957	0,007441	0,9926
24	513	49,962	199985,023	0,00744	0,37175	0,007441	0,9926
25	514	44,883	199987,913	0,00744	0,33395	0,007440	0,9926
26	515	39,810	199990,491	0,00744	0,29620	0,007440	0,9926
27	517	34,744	199992,757	0,00744	0,25850	0,007440	0,9926
28	518	29,689	199994,711	0,00744	0,22089	0,007440	0,9926

Tabel 4.23 Panjang Relatif Frame 520 – Frame 534

No.	Frame	L (m)	E_{eq} (Mpa)	ε'	ΔL (m)	$\Delta L_{Relatif}$	$1 - \Delta L_{Relatif}$
29	520	61,402	199977,381	0,00744	0,45688	0,007441	0,9926
30	521	56,509	199980,842	0,00744	0,42047	0,007441	0,9926
31	522	51,618	199984,014	0,00744	0,38407	0,007441	0,9926
32	523	46,729	199986,899	0,00744	0,34768	0,007440	0,9926
33	524	41,843	199989,495	0,00744	0,31132	0,007440	0,9926
34	525	36,960	199991,804	0,00744	0,27500	0,007440	0,9926
35	526	32,084	199993,824	0,00744	0,23871	0,007440	0,9926
36	528	60,422	199978,097	0,00744	0,44959	0,007441	0,9926
37	529	55,531	199981,499	0,00744	0,41319	0,007441	0,9926
38	530	50,641	199984,613	0,00744	0,37680	0,007441	0,9926
39	531	45,754	199987,440	0,00744	0,34043	0,007440	0,9926
40	532	40,871	199989,978	0,00744	0,30410	0,007440	0,9926
41	533	35,993	199992,227	0,00744	0,26779	0,007440	0,9926
42	534	31,121	199994,189	0,00744	0,23155	0,007440	0,9926

Tabel 4.24 Panjang Relatif Frame 536 – Frame 550

No.	Frame	L (m)	E_{eq} (Mpa)	ϵ'	ΔL (m)	$\Delta L_{Relatif}$	$1 - \Delta L_{Relatif}$
43	536	61,503	199977,306	0,00744	0,45763	0,007441	0,9926
44	537	56,610	199980,773	0,00744	0,42122	0,007441	0,9926
45	538	51,718	199983,952	0,00744	0,38482	0,007441	0,9926
46	539	46,829	199986,843	0,00744	0,34843	0,007440	0,9926
47	540	41,943	199989,445	0,00744	0,31207	0,007440	0,9926
48	541	37,060	199991,759	0,00744	0,27574	0,007440	0,9926
49	542	32,184	199993,785	0,00744	0,23945	0,007440	0,9926
50	544	60,321	199978,170	0,00744	0,44884	0,007441	0,9926
51	545	55,430	199981,566	0,00744	0,41244	0,007441	0,9926
52	546	50,540	199984,675	0,00744	0,37605	0,007441	0,9926
53	547	45,654	199987,495	0,00744	0,33969	0,007440	0,9926
54	548	40,771	199990,027	0,00744	0,30335	0,007440	0,9926
55	549	35,893	199992,270	0,00744	0,26705	0,007440	0,9926
56	550	31,022	199994,226	0,00744	0,23081	0,007440	0,9926

4.4. Perencanaan Gaya Jacking dan Eksentrisitas Kabel Prategang

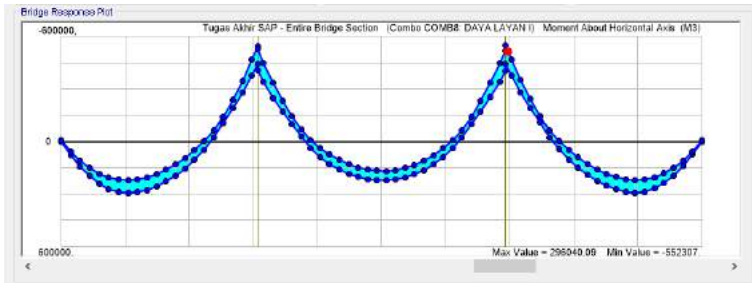
Dalam perencanaan gaya jacking dan eksentrisitas untuk kabel prategang diatur tegangan pada penampang beton sedemikian mungkin agar memenuhi persyaratan batas tegangan pada serat terluar yang telah di atur dalam persamaan 4.1 – persamaan 4.8.

4.4.1. Momen envelope dari kondisi layan.

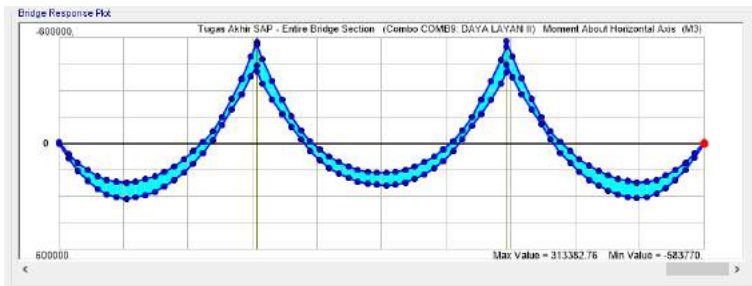
Tegangan yang terjadi pada kabel prategang direncanakan dengan mengacu pada nilai-nilai yang ada pada Sub BAB 4.1.3 sedangkan untuk analisa eksentrisitas akan dibuat dalam nilai ekuivalen untuk mempermudah perhitungan dimana nilai-nilai ini akan dipengaruhi oleh nilai momen yang ditinjau.

Untuk momen-momen yang ditinjau pada perencanaan eksentrisitas adalah momen-momen yang terkategori kombinasi layan, mulai dari layan I hingga layan IV.

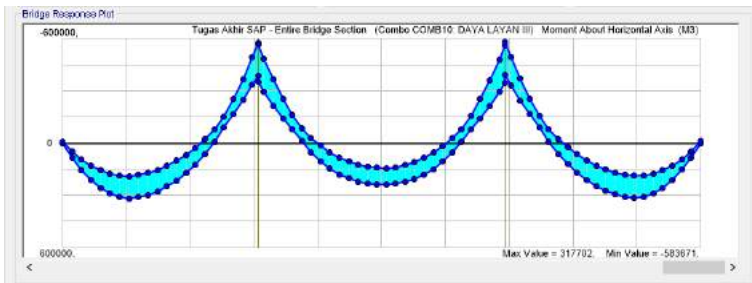
Pada Gambar 4.39 hingga Gambar 4.42 gambar ditampilkan gaya momen yang terjadi akibat masing-masing kombinasi daya layan:



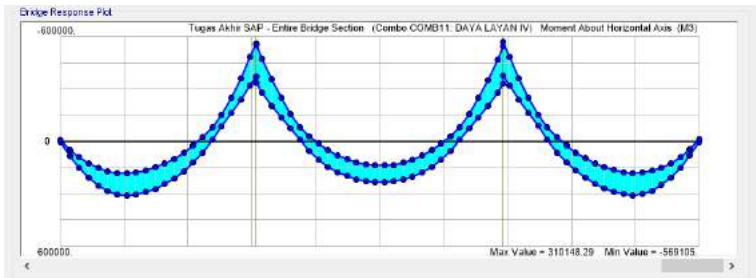
Gambar 4.39 Bidang Momen Kombinasi Daya Layan I.



Gambar 4.40 Bidang Momen Kombinasi Daya Layan II.



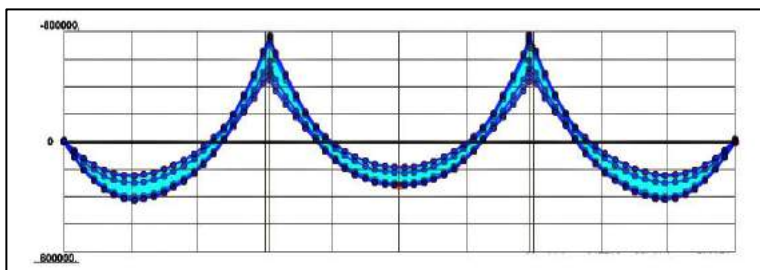
Gambar 4.41 Bidang Momen Kombinasi Daya Layan III.



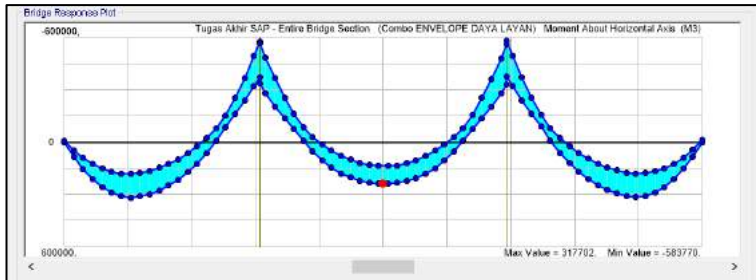
Gambar 4.42 Bidang Momen Kombinasi Daya Layan IV.

Dari keempat grafik yang ada dari kombinasi daya layan kemudian akan dijadi satukan untuk dibanding kan sehingga mendapat nilai envelope dari kombinasi beban layan yang terjadi.

Pada Gambar 4.43 dan Gambar 4.44 menunjukan nilai envelope dari batas maksimum dan minimum terhadap momen yang terjadi akibat kombinasi daya layan.

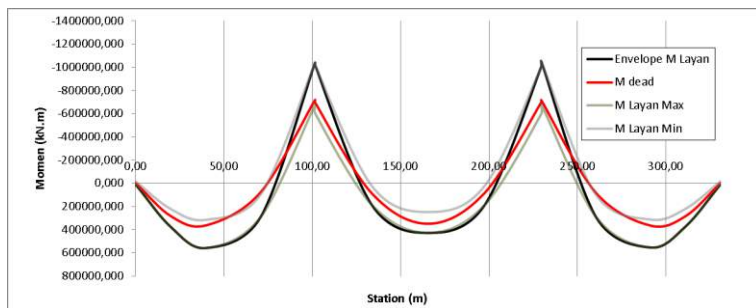


Gambar 4.43 Bidang Momen Kombinasi Daya Layan dalam Satu Gambar.



Gambar 4.44 Envelope Bidang Momen Kombinasi Daya Layan.

Dari batas maksimum dan minimum yang didapat dari envelope kombinasi daya layan maka ditentukan nilai maksimum dari momen positif yang terjadi dan nilai minimum dari momen negatif yang terjadi, kemudian pada perencanaan eksentrisitas juga ditentukan nilai dari momen akibat beban mati untuk kontrol pada saat kondisi jacking. Berikut ditampilkan nilai momen yang digunakan pada Gambar 4.45 dan Tabel 4.25.



Gambar 4.45 Envelope Bidang Momen Kombinasi Layan dan Bidang Momen Akibat Beban Mati.

Tabel 4.25 Envelope Bidang Momen Kombinasi Layan dan Bidang Momen Akibat Beban Mati.

Station	M_U (Layan)	M3 (Dead)
m	kN.m	kN.m
0,00	8970,534	-3208,000
20,00	377488,260	283530,000
40,00	558036,360	362145,000
70,75	290912,940	76681,000
101,50	-1039508,100	-718278,000
101,50	-1021280,400	-698665,000
133,50	183990,600	84276,000
165,50	427863,240	348653,000
197,50	186958,980	82693,700
229,50	-1006509,960	-699742,000
229,50	-1050786,000	-717336,000
260,25	285722,280	78854,600
291,00	553321,800	363539,000
311,00	374175,180	284407,500
331,00	6892,954	-3957,151

4.4.2. Rencana eksentrisitas ekivalen dan gaya jacking.

Pada perencanaan eksentrisitas ekivalen, karakteristik yang kabel prategang yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Tegangan saat Jacking = 1486 Mpa
- Tegangan kondisi layan = 1023 Mpa
- Diameter strand = 15,2 mm
- Tipe strand = 6 – 55
- Jumlah strand per tendeon = 55 Strand
- Luas per tendon = 7881,5 mm²
- Gaya jacking per tendon = 11712 kN
- Gaya pada tendon saat layan = 8063 kN

Sedangkan untuk nilai dari eksentrisitas dan jumlah tendon yang akan digunakan adalah sebagai berikut seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.26:

Tabel 4.26 Eksentrisitas dan Jumlah Tendon pada Setiap Station yang Ditinjau.

Station	Keterangan	Eks, e	Jumlah Tendon
(m)	Per/Lap	(mm)	(n)
0,00	Perletakan	0,000	12
20,00	Lapangan	1020,500	18
40,00	Lapangan	2041,000	20
70,75	Lapangan	1750,000	12
101,50	Perletakan	-1459,000	32
133,50	Lapangan	1750,000	12
165,50	Lapangan	2041,000	18
197,50	Lapangan	1750,000	12
229,50	Perletakan	-1459,000	32
260,25	Lapangan	1750,000	12
291,00	Lapangan	2041,000	20
311,00	Lapangan	1020,500	18
331,00	Perletakan	0,000	12

4.4.2.1. Kontrol tegangan awal

A. Syarat ijin tegangan

Untuk syarat ijin yang digunakan mengacu pada nilai yang telah diberikan pada Sub BAB 4.1.3 , di mana:

1. Pada saat jacking

• Lapangan

Tarik = 1,66 Mpa

Tekan = -26,40 Mpa

• Perletakan

Tarik = 3,32 Mpa

Tekan = -26,40 Mpa

2. Pada kondisi layan

• Lapangan

Tarik = 3,54 Mpa

Tekan = -22,50 Mpa

• Perletakan

Tarik = 3,54 Mpa

Tekan = -22,50 Mpa

B. Karakteristik Penampang

Untuk kontrol tegangan, jumlah titik yang akan ditinjau ada tiga belas titik station dimana masing-masing station ditunjukkan pada Tabel 4.27 dengan karakteristik penampangnya masing-masing.

Tabel 4.27 Karakteristik Penampang pada Setiap Station.

Station	Keterangan	A	Ya	Yb	I	Eks, e	Jumlah Tendon
(m)	Per/Lap	(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm ⁴)	(mm)	(n)
0,00	Perletakan	2,25E+07	2131,10	2368,90	7,00E+13	0,000	12
20,00	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	7,00E+13	1020,500	18
40,00	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	7,00E+13	2041,000	20
70,75	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	7,00E+13	1750,000	12
101,50	Perletakan	3,90E+07	2096,00	2404,00	1,05E+14	-1459,000	32
133,50	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13	1750,000	12
165,50	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13	2041,000	18
197,50	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13	1750,000	12
229,50	Perletakan	3,90E+07	2096,00	2404,00	1,05E+14	-1459,000	32
260,25	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13	1750,000	12
291,00	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13	2041,000	20
311,00	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13	1020,500	18
331,00	Perletakan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13	0,000	12

C. Kontrol tegangan pada saat jacking

Dalam kontrol tegangan pada saat jacking digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = -\frac{\Sigma F_o}{A} \pm \frac{\Sigma F_o \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M_D \cdot y}{I} \quad (4.39)$$

Dimana,

- ΣF_o = Resultan gaya jacking pada tendon
- = Jumlah tendon x gaya jacking
- A = Luas penampang bruto
- e = Eksentrisitas kabel prategang
- y = Jarak serat terluar terhadap garis netral
- I = Momen inersia
- M_D = Momen akibat beban permanent struktur

Sedangkan karena tegangan ini merupakan besaran vektor maka nilai negatif (-) menunjukkan gaya tekan dan nilai positif (+) menunjukkan gaya tarik. Untuk contoh perhitungan digunakan station

+ 40,00 meter dengan data – data sebagai berikut:

Jumlah tendon = 20 tendon

- ΣF_o = 234238180 N
- A = $2,25 \times 10^7 \text{ mm}^2$
- e = 2041 mm
- ya = 2131,10 mm
- yb = 2368,90 mm
- I = $7,00 \times 10^{13} \text{ mm}^4$
- M_D = $3,62 \times 10^{11} \text{ N.mm}$

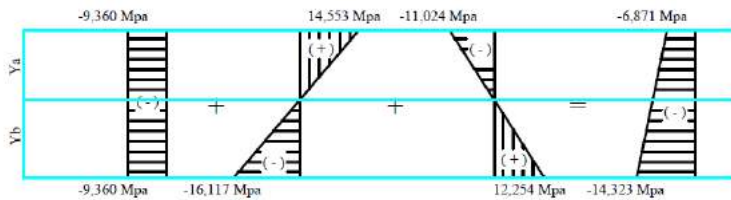
Dengan demikian tegangan untuk serat atas adalah:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{top}} &= \\ &= -\frac{234238180}{2,25 \times 10^7} + \frac{234238180 \times 2041 \times 2131,10}{7,00 \times 10^{13}} - \frac{3,62 \times 10^{11} \times 2131,10}{7,00 \times 10^{13}} \\ &= -9,360 + 14,553 - 11,024 \text{ Mpa} \\ &= -6,871 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Dan tegangan bawah adalah:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{bot}} &= \\ &= -\frac{234238180}{2,25 \times 10^7} - \frac{234238180 \times 2041 \times 2368,90}{7,00 \times 10^{13}} + \frac{3,62 \times 10^{11} \times 2368,90}{7,00 \times 10^{13}} \\ &= -9,360 - 16,177 + 12,254 \text{ Mpa} \\ &= -14,323 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Secara grafik .tegangan yang terjadi bisa di gambarkan sebagai berikut seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.46 :



Gambar 4.46 Grafik Tegangan Serat Atas dan Bawah pada Station +40,00.

Nilai dari tegangan atas ataupun tegangan bawah harus berada di antara tegangan ijin yang diberikan sehingga dengan batas tarik 1,66 Mpa dan batas tekan -26,40 Mpa maka baik tegangan atas dan tegangan bawah berada dalam kondisi memenuhi syarat.

Melalui perhitungan yang sama melalui Persamaan 4.39 maka akan didapatkan atas dan bawah yang kemudian di cek berdasarkan batas tarik dan batas tekan yang ada. Berikut pada Tabel 4.28 dan Tabel 4.29 menampilkan perhitungan dan kondisi syarat pada masing-masing station:

Tabel 4.28 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Jacking.

Station	Keterangan	Eks, e	Jumlah Tendon	ΣF	ΣF/A	ΣF.e.y/I (Mpa)	
(m)	Per/Lap	(mm)	(n)	(N)	(Mpa)	Atas	Bawah
0,00	Perletakan	0,000	12	140542908	-6,240	0,000	0,000
20,00	Lapangan	1020,500	18	210814362	-9,360	6,549	-7,280
40,00	Lapangan	2041,000	20	234238180	-10,400	14,553	-16,177
70,75	Lapangan	1750,000	12	140542908	-6,240	7,487	-8,322
101,50	Perletakan	-1459,000	32	374781088	-9,616	-10,931	12,537
133,50	Lapangan	1750,000	12	140542908	-6,240	8,984	-9,987
165,50	Lapangan	2041,000	18	210814362	-9,360	15,717	-17,471
197,50	Lapangan	1750,000	12	140542908	-6,240	8,984	-9,987
229,50	Perletakan	-1459,000	32	374781088	-9,616	-10,931	12,537
260,25	Lapangan	1750,000	12	140542908	-6,240	8,984	-9,987
291,00	Lapangan	2041,000	20	234238180	-10,400	17,463	-19,412
311,00	Lapangan	1020,500	18	210814362	-9,360	7,859	-8,735
331,00	Perletakan	0,000	12	140542908	-6,240	0,000	0,000

Tabel 4.29 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Jacking (Lanjutan).

Station	Keterangan	M _D	Eks, e	Mu.y/I (Mpa)		Resultan (Mpa)		Keterangan	
(m)	Per/Lap	(N.mm)	(mm)	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
0,00	Perletakan	-3,21E+09	0,000	0,098	-0,109	-6,142	-6,349	OK	OK
20,00	Lapangan	2,84E+11	1020,500	-8,631	9,594	-11,442	-7,046	OK	OK
40,00	Lapangan	3,62E+11	2041,000	-11,024	12,254	-6,871	-14,323	OK	OK
70,75	Lapangan	7,67E+10	1750,000	-2,334	2,595	-1,087	-11,968	OK	OK
101,50	Perletakan	-7,18E+11	-1459,000	14,359	-16,469	-6,188	-13,548	OK	OK
133,50	Lapangan	8,43E+10	1750,000	-3,078	3,422	-0,334	-12,805	OK	OK
165,50	Lapangan	3,49E+11	2041,000	-12,736	14,157	-6,379	-12,674	OK	OK
197,50	Lapangan	8,27E+10	1750,000	-3,021	3,358	-0,277	-12,869	OK	OK
229,50	Perletakan	-7,17E+11	-1459,000	14,340	-16,447	-6,207	-13,526	OK	OK
260,25	Lapangan	7,89E+10	1750,000	-2,880	3,202	-0,136	-13,025	OK	OK
291,00	Lapangan	3,64E+11	2041,000	-13,279	14,761	-6,216	-15,051	OK	OK
311,00	Lapangan	2,84E+11	1020,500	-10,389	11,548	-11,890	-6,547	OK	OK
331,00	Perletakan	-3,96E+09	0,000	0,145	-0,161	-6,095	-6,401	OK	OK

D. Kontrol tegangan kondisi layan

Dalam kontrol tegangan pada saat kondisi layan digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = -\frac{\Sigma F}{A} \pm \frac{\Sigma F.e.y}{I} \pm \frac{M_L.y}{I}$$

Dimana,

ΣF = Resultan gaya pada tendon setelah kehilangan gaya prategang

= Jumlah tendon x gaya jacking

M_L = Resultan momen pada kondisi akibat kombinasi daya layan

Untuk contoh perhitungan digunakan station +165,50 meter dengan data – data sebagai berikut:

Jumlah tendon = 18 tendon

ΣF = 145129941 N

A = $2,25 \times 10^7 \text{ mm}^2$

e = 2041 mm

y_a = 2131,10 mm

y_b = 2368,90 mm

I = $7,00 \times 10^{13} \text{ mm}^4$

M_D = $4,28 \times 10^{11} \text{ N.mm}$

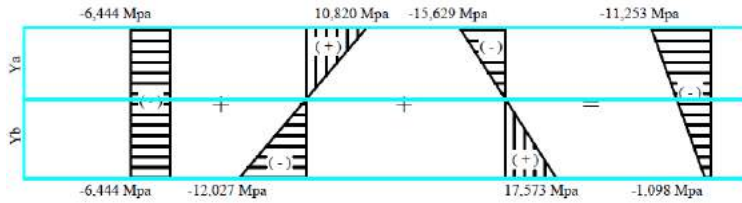
Dengan demikian tegangan untuk serat atas adalah:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{top}} &= \\ &= -\frac{145129941}{2,25 \times 10^7} + \frac{145129941 \times 2041 \times 2131,10}{7,00 \times 10^{13}} - \frac{4,28 \times 10^{11} \times 2131,10}{7,00 \times 10^{13}} \\ &= -6,444 + 10,820 - 15,629 \text{ Mpa} \\ &= -11,253 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Dan tegangan bawah adalah:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{bot}} &= \\ &= -\frac{145129941}{2,25 \times 10^7} - \frac{145129941 \times 2041 \times 2368,90}{7,00 \times 10^{13}} + \frac{4,28 \times 10^{11} \times 2368,90}{7,00 \times 10^{13}} \\ &= -6,444 - 12,027 + 17,573 \text{ Mpa} \\ &= -1,098 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Dan secara grafik .tegangan yang terjadi bisa di gambarkan sebagai berikut seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.47 :



Gambar 4.47 Grafik Tegangan Serat Atas dan Bawah pada Station +165,50.

Nilai dari tegangan atas ataupun tegangan bawah harus berada di antara tegangan ijin yang diberikan sehingga dengan batas tarik 3,54 Mpa dan batas tekan -22,50 Mpa maka baik tegangan atas dan tegangan bawah berada dalam kondisi memenuhi syarat.

Melalui perhitungan yang sama melalui Persamaan 4.39 maka akan didapatkan atas dan bawah yang kemudian di cek berdasarkan batas tarik dan batas tekan yang ada. Berikut pada Tabel 4.30 dan Tabel 4.31 menampilkan perhitungan dan kondisi syarat pada masing-masing station:

Tabel 4.30 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Layan.

Station	Keterangan	Eks, e	Jumlah Tendon	ΣF	$\Sigma F/A$	$\Sigma F.e.y/I$ (Mpa)	
(m)	Per/Lap	(mm)	(n)	(N)	(Mpa)	Atas	Bawah
0,00	Perletakan	0,000	12	140542908	-6,240	0,000	0,000
20,00	Lapangan	1020,500	18	210814362	-9,360	6,549	-7,280
40,00	Lapangan	2041,000	20	234238180	-10,400	14,553	-16,177
70,75	Lapangan	1750,000	12	140542908	-6,240	7,487	-8,322
101,50	Perletakan	-1459,000	32	374781088	-9,616	-10,931	12,537
133,50	Lapangan	1750,000	12	140542908	-6,240	8,984	-9,987
165,50	Lapangan	2041,000	18	210814362	-9,360	15,717	-17,471
197,50	Lapangan	1750,000	12	140542908	-6,240	8,984	-9,987
229,50	Perletakan	-1459,000	32	374781088	-9,616	-10,931	12,537
260,25	Lapangan	1750,000	12	140542908	-6,240	8,984	-9,987
291,00	Lapangan	2041,000	20	234238180	-10,400	17,463	-19,412
311,00	Lapangan	1020,500	18	210814362	-9,360	7,859	-8,735
331,00	Perletakan	0,000	12	140542908	-6,240	0,000	0,000

Tabel 4.31 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Layan (Lanjutan).

Station	Keterangan	M_{Layan}	Eks, e	$M_{Layan.y/I}$ (Mpa)		Resultan (Mpa)		Keterangan	
(m)	Per/Lap	(N.mm)	(mm)	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
0,00	Perletakan	8,97E+09	0,000	-0,273	0,304	-4,569	-3,992	OK	OK
20,00	Lapangan	3,77E+11	1020,500	-11,491	12,773	-13,426	1,318	OK	OK
40,00	Lapangan	5,58E+11	2041,000	-16,987	18,882	-14,128	0,586	OK	OK
70,75	Lapangan	2,91E+11	1750,000	-8,855	9,844	-7,997	-0,181	OK	OK
101,50	Perletakan	-1,04E+12	-1459,000	20,781	-23,834	3,318	-21,823	OK	OK
133,50	Lapangan	1,84E+11	1750,000	-6,721	7,471	-4,832	-3,700	OK	OK
165,50	Lapangan	4,28E+11	2041,000	-15,629	17,373	-11,253	-1,098	OK	OK
197,50	Lapangan	1,87E+11	1750,000	-6,829	7,591	-4,940	-3,580	OK	OK
229,50	Perletakan	-1,05E+12	-1459,000	21,006	-24,093	3,430	-22,082	OK	OK
260,25	Lapangan	2,86E+11	1750,000	-10,437	11,602	-8,548	0,431	OK	OK
291,00	Lapangan	5,53E+11	2041,000	-20,212	22,467	-15,349	1,944	OK	OK
311,00	Lapangan	3,74E+11	1020,500	-13,668	15,193	-14,702	2,736	OK	OK
331,00	Perletakan	6,89E+09	0,000	-0,252	0,280	-4,548	-4,016	OK	OK

4.5. Perubahan Garis Pusat Tekanan pada Tendon Menerus

Pada bagian ini eksentrisitas tendon di sesuaikan dengan momen sekunder yang diakibatkan oleh titik fokus yang terjadi pada bentang menerus. Hasil dari perhitungan ini nantinya adalah eksentrisitas baru yang telah dihitung ulang serta disesuaikan dengan reaksi momen sekunder.

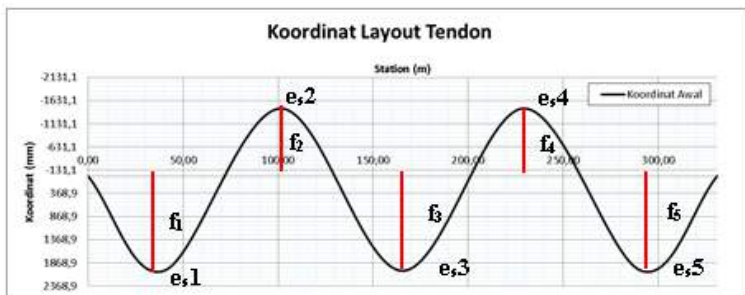
4.5.1. Asumsi awal koordinat tendon menerus

Dari perhitungan sebelumnya diketahui bahwa eksentrisitas yang direncanakan adalah sesuai berikut seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.32:

Tabel 4.32 Asumsi Awal Koordinat Tendon Menerus.

No.	X (m)	e (mm)
1	0,00	0
2	40,00	2041
3	101,50	-1459
4	165,50	2041
5	229,50	-1459
6	291,00	2041
7	331,00	0

Sehingga jika koordinat eksentrisitas diploting terhadap penampang akan terlihat seperti Gambar 4.48 di bawah ini:



Gambar 4.48 Grafik Koordinat Layout Tendon.

4.5.2. Momen sekunder akibat titik fokus pada kabel prategang

Dalam mencari momen sekunder digunakan beban merata yang diakibatkan oleh tendon yang memiliki fokus seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini:

$$q = \frac{8.F_o.f}{L^2} \quad (4.40)$$

Sehingga untuk masing-masing parabola dengan eksentrisitas masing-masing didapat nilai beban merata sebagai berikut:

e_s 1 = e_s 5

$$\begin{aligned} F_o &= 140542908 \quad \text{kN} \\ f_1 &= 2041 \quad \text{mm} \\ L_1 &= 78,096 \quad \text{m} \\ q &= \frac{8 \times 140542908 \times 2041}{78,096^2} \\ &= 376256,7904 \quad \text{kN/m} \end{aligned}$$

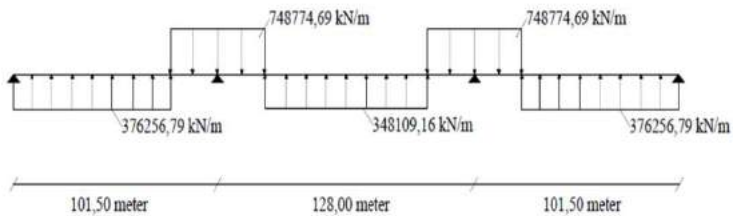
e_s 2 = e_s 4

$$\begin{aligned} F_o &= 140542908 \quad \text{kN} \\ f_2 &= 1459 \quad \text{mm} \\ L_2 &= 46,806 \quad \text{m} \\ q &= \frac{8 \times 140542908 \times 1459}{46,806^2} \\ &= 748774,6929 \quad \text{kN/m} \end{aligned}$$

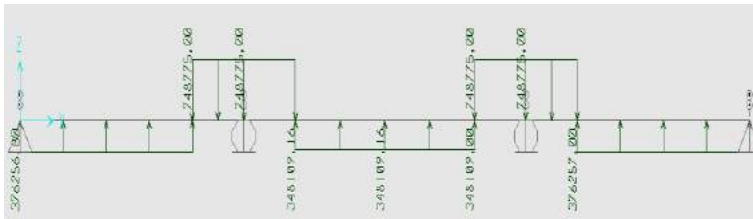
e_s 3

$$\begin{aligned} F_o &= 140542908 \quad \text{kN} \\ f_3 &= 2041 \quad \text{mm} \\ L_3 &= 81,192 \quad \text{m} \\ q &= \frac{8 \times 140542908 \times 2041}{81,192^2} \\ &= 348109,1574 \quad \text{kN/m} \end{aligned}$$

Dari nilai-nilai beban merata yang didapat oleh Persamaan 4.40 maka dapat diilustrasikan bahwa beban yang bekerja pada bentang flyover yang nantinya menagakibatkan momen sekunder seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.49 dan Gambar 4.50 di bawah ini:

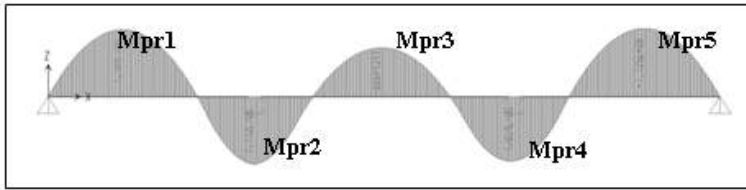


Gambar 4.49 Ilustrasi Pembebanan Akibat Kabel Prategang.



Gambar 4.50 Input Pembebanan Akibat Kabel Prategang pada Program Bantu.

Dari hasil pemrogram dengan program bantu SAP2000 didapat bidang momen akibat beban merata yang dihasilkan oleh eksentrisitas kabel. Momen yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 4.51 di bawah ini:



Gambar 4.51 Bidang Momen Akibat Kabel Prategang pada Program Bantu.

$$\begin{aligned}
 \text{Mpr } 1 &= \text{Mpr } 5 = & -255.955.751,0 \text{ kN.m} \\
 \text{Mpr } 2 &= \text{Mpr } 4 = & 222.915.725,5 \text{ kN.m} \\
 \text{Mpr } 3 &= & -189.676.883,2 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

4.5.3. Nilai garis pusat tekanan baru

Dengan menggunakan nilai momen sekunder yang dihasilkan oleh fokus tendon maka dapat dicari nilai garis pusat tekanan yang telah disesuaikan dengan Persamaan 4.41 di bawah ini:

$$es' = Mpr/Fo \quad (4.41)$$

Dengan memasukkan nilai Fo dan Mpr maka pada masing – masing eksentrisitas dapat ditentukan seperti dibawah ini:

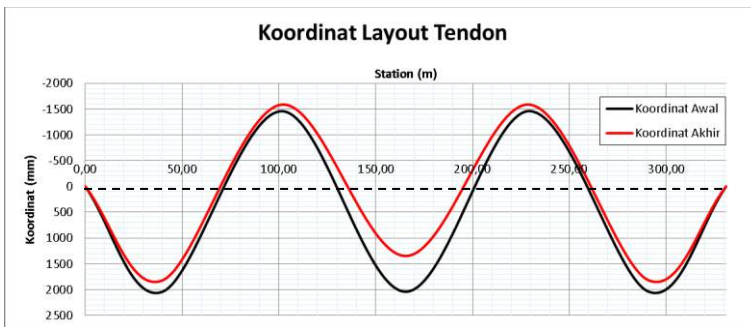
$$\begin{aligned}
 es1' &= es5' = -1,821 \text{ m} & = -1821,193 \text{ mm} \\
 es2' &= es4' = 1,586 \text{ m} & = 1586,104 \text{ mm} \\
 es3' &= -1,350 \text{ m} & = -1349,601 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dapat dirangkum nilai dari garis pusat tekanan baru seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.33 di bawah ini:

Tabel 4.33 Perbandingan Koordinat Eksentrisitas Awal dan Akhir.

No.	X	e	e'
	(m)	(mm)	(mm)
1	0,00	0	0
2	40,00	2041	1821,193
3	101,50	-1459	-1586,104
4	165,50	2041	1349,601
5	229,50	-1459	-1586,104
6	291,00	2041	1821,193
7	331,00	0	0

Pada Gambar 4.52 berikut ditampilkan perbandingan antara koordinat layout tendon baru dengan koordinat akhir yang telah mengalami penyesuaian terhadap momen sekunder.



Gambar 4.52 Grafik Perbandingan Koordinat Layout Tendon Awal dan Akhir.

4.5.4. Kontrol tegangan akibat nilai pusat tekanan baru

Kontrol tegangan akibat nilai pusat tekanan baru dikontrol terhadap momen akibat beban permanen struktur pada saat jacking dan momen akibat envelope kombinasi daya layan pada saat kondisi layan.

4.5.4.1. Kontrol tegangan pada saat jacking

Kontrol tegangan pada saat jacking menggunakan Persamaan 4.39 dengan nilai eksentrisitas yang disesuaikan terhadap hasil perhitungan dengan persamaan . Untuk contoh perhitungan digunakan sampel pada station +291,00 meter.

Berikut adalah perhitungan nya:

$$\sigma = -\frac{\Sigma F_o}{A} \pm \frac{\Sigma F_o \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M_D \cdot y}{I}$$

Untuk data pada station +291,00 meter ditunjukan dibawah ini:

Jumlah tendon = 20 tendon

$$\Sigma F_o = 234238180 \text{ N}$$

$$A = 2,25 \times 10^7 \text{ mm}^2$$

$$e = 1821,193 \text{ mm}$$

$$y_a = 2131,10 \text{ mm}$$

$$y_b = 2368,90 \text{ mm}$$

$$I = 7,00 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

$$M_D = 3,64 \times 10^{11} \text{ N.mm}$$

Dengan demikian tegangan untuk serat atas adalah:

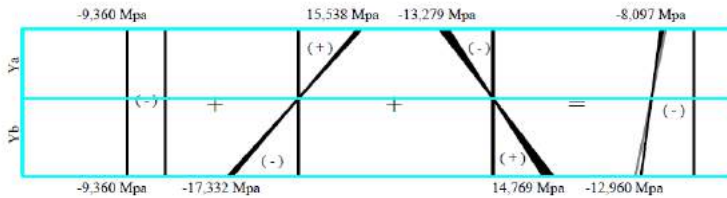
$$\begin{aligned} \sigma_{\text{top}} &= -\frac{234238180}{2,25 \times 10^7} + \frac{234238180 \times 1821,193 \times 2131,10}{7,00 \times 10^{13}} - \\ &\frac{3,64 \times 10^{11} \times 2131,10}{7,00 \times 10^{13}} \\ &= -9,360 + 15,583 - 13,279 \text{ Mpa} \\ &= -8,097 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Dan tegangan bawah adalah:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{bot}} &= -\frac{234238180}{2,25 \times 10^7} - \frac{234238180 \times 1821,193 \times 2368,90}{7,00 \times 10^{13}} + \\ &\frac{3,64 \times 10^{11} \times 2368,90}{7,00 \times 10^{13}} \\ &= -9,360 - 17,322 + 14,761 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$= -12,960 \text{ Mpa}$$

Secara grafik .tegangan yang terjadi bisa di gambarkan sebagai berikut seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.53:



Gambar 4.53 Grafik Tegangan Serat pada Kondisi Jacking untuk Station +291,00 Pasca Perubahan Koordinat Tendon.

Nilai dari tegangan atas ataupun tegangan bawah harus berada di antara tegangan ijin yang diberikan sehingga dengan batas tarik 1,66 Mpa dan batas tekan -26,40 Mpa maka baik tegangan atas dan tegangan bawah berada dalam kondisi memenuhi syarat.

Melalui perhitungan yang sama melalui Persamaan 4.39 maka akan didapatkan atas dan bawah yang kemudian di cek berdasarkan batas tarik dan batas tekan yang ada. Berikut pada Tabel 4.34 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Jacking Pasca Perubahan Titik Tekan. dan Tabel 4.35 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Jacking Pasca Perubahan Titik Tekan (Lanjutan). menampilkan perhitungan dan kondisi syarat pada masing-masing station:

Tabel 4.34 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Jacking Pasca Perubahan Titik Tekan.

Station	Keterangan	Eks, e	Jumlah Tendon	ΣF	$\Sigma F/A$	$\Sigma F.e.y/I$ (Mpa)	
(m)	Per/Lap	(mm)	(n)	(N)	(Mpa)	Atas	Bawah
0,00	Perletakan	0,000	12	140542908	-6,240	0,000	0,000
20,00	Lapangan	809,048	18	210814362	-9,360	5,192	-5,771
40,00	Lapangan	1821,193	20	234238180	-10,400	12,986	-14,435
70,75	Lapangan	707,821	12	140542908	-6,240	3,028	-3,366
101,50	Perletakan	-1586,104	32	374781088	-9,616	-11,883	13,630
133,50	Lapangan	198,910	12	140542908	-6,240	1,021	-1,135
165,50	Lapangan	1349,601	18	210814362	-9,360	10,393	-11,553
197,50	Lapangan	198,910	12	140542908	-6,240	1,021	-1,135
229,50	Perletakan	-1586,104	32	374781088	-9,616	-11,883	13,630
260,25	Lapangan	707,821	12	140542908	-6,240	3,634	-4,039
291,00	Lapangan	1821,193	20	234238180	-10,400	15,583	-17,322
311,00	Lapangan	809,048	18	210814362	-9,360	6,230	-6,925
331,00	Perletakan	0,000	12	140542908	-6,240	0,000	0,000

Tabel 4.35 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Jacking Pasca Perubahan Titik Tekan (Lanjutan).

Station	Keterangan	M_D	Eks, e	$Mu.y/I$ (Mpa)		Resultan (Mpa)		Keterangan	
(m)	Per/Lap	(N.mm)	(mm)	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
0,00	Perletakan	-3,21E+09	0,000	0,098	-0,109	-6,142	-6,349	OK	OK
20,00	Lapangan	2,84E+11	809,048	-8,631	9,594	-12,799	-5,537	OK	OK
40,00	Lapangan	3,62E+11	1821,193	-11,024	12,254	-8,438	-12,581	OK	OK
70,75	Lapangan	7,67E+10	707,821	-2,334	2,595	-5,546	-7,011	OK	OK
101,50	Perletakan	-7,18E+11	-1586,104	14,359	-16,469	-7,141	-12,456	OK	OK
133,50	Lapangan	8,43E+10	198,910	-3,078	3,422	-8,297	-3,953	OK	OK
165,50	Lapangan	3,49E+11	1349,601	-12,736	14,157	-11,703	-6,756	OK	OK
197,50	Lapangan	8,27E+10	198,910	-3,021	3,358	-8,240	-4,017	OK	OK
229,50	Perletakan	-7,17E+11	-1586,104	14,340	-16,447	-7,159	-12,434	OK	OK
260,25	Lapangan	7,89E+10	707,821	-2,880	3,202	-5,487	-7,077	OK	OK
291,00	Lapangan	3,64E+11	1821,193	-13,279	14,761	-8,097	-12,960	OK	OK
311,00	Lapangan	2,84E+11	809,048	-10,389	11,548	-13,519	-4,737	OK	OK
331,00	Perletakan	-3,96E+09	0,000	0,145	-0,161	-6,095	-6,401	OK	OK

4.5.4.2. Kontrol tegangan kondisi layan

Sedangkan untuk kontrol tegangan pada kondisi layan menggunakan Persamaan 4.39 dengan nilai eksentrisitas yang disesuaikan terhadap hasil perhtiuangan dengan Persamaan 4.39.

Untuk contoh perhitungan digunakan sampel pada station +101,50 meter.

Berikut adalah perhitungan nya:

$$\sigma = -\frac{\Sigma F}{A} \pm \frac{\Sigma F.e.y}{I} \pm \frac{M_D.y}{I}$$

Untuk data pada station +291,00 meter ditunjukkan dibawah ini:

Jumlah tendon = 32 tendon

$$\Sigma F = 258008784 \text{ N}$$

$$A = 3,09 \times 10^7 \text{ mm}^2$$

$$e = -1586,104 \text{ mm (di atas garis netral)}$$

$$y_a = 2096,00 \text{ mm}$$

$$y_b = 2404,00 \text{ mm}$$

$$I = 10,50 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

$$M_L = -1,04 \times 10^{12} \text{ N.mm}$$

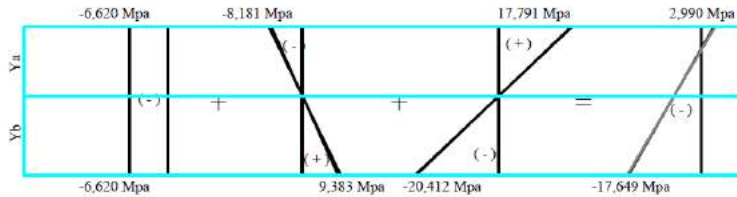
Dengan demikian tegangan untuk serat atas adalah:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{top}} &= -\frac{258008784}{3,09 \times 10^7} - \frac{258008784 \times 1586,104 \times 2096,00}{10,50 \times 10^{13}} + \\ &\frac{1,04 \times 1586,104 \times 2096,00}{10,50 \times 10^{13}} \\ &= -6,620 - 8,181 + 17,791 \text{ Mpa} \\ &= 2,990 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Dan tegangan bawah adalah:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{top}} &= -\frac{258008784}{3,09 \times 10^7} + \frac{258008784 \times 1586,104 \times 2404,00}{10,50 \times 10^{13}} - \\ &\frac{1,04 \times 1586,104 \times 2404,00}{10,50 \times 10^{13}} \\ &= -6,620 + 9,383 - 20,412 \text{ Mpa} \\ &= -17,649 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Secara grafik .tegangan yang terjadi bisa di gambarkan sebagai berikut seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.54:



Gambar 4.54 Grafik Tegangan Serat pada Kondisi Layan untuk Station +291,00 Pasca Perubahan Koordinat Tendon.

Nilai dari tegangan atas ataupun tegangan bawah harus berada di antara tegangan ijin yang diberikan sehingga dengan batas tarik 1,66 Mpa dan batas tekan -26,40 Mpa maka baik tegangan atas dan tegangan bawah berada dalam kondisi memenuhi syarat.

Melalui perhitungan yang sama melalui Persamaan 4.39 maka akan didapatkan atas dan bawah yang kemudian di cek berdasarkan batas tarik dan batas tekan yang ada. Berikut pada menampilkan perhitungan dan kondisi syarat pada masing-masing station:

Tabel 4.36 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Layan Pasca Perubahan Titik Tekan.

Station	Keterangan	Eks, e	Jumlah Tendon	ΣF	$\Sigma F/A$	$\Sigma F.e.y/I$ (Mpa)	
(m)	Per/Lap	(mm)	(n)	(N)	(Mpa)	Atas	Bawah
0,00	Perletakan	0,000	12	96753294	-4,296	0,000	0,000
20,00	Lapangan	809,048	18	145129941	-6,444	3,574	-3,973
40,00	Lapangan	1821,193	20	161255490	-7,160	8,940	-9,937
70,75	Lapangan	707,821	12	96753294	-4,296	2,085	-2,317
101,50	Perletakan	-1586,104	32	258008784	-6,620	-8,181	9,383
133,50	Lapangan	198,910	12	96753294	-4,296	0,703	-0,781
165,50	Lapangan	1349,601	18	145129941	-6,444	7,155	-7,953
197,50	Lapangan	198,910	12	96753294	-4,296	0,703	-0,781
229,50	Perletakan	-1586,104	32	258008784	-6,620	-8,181	9,383
260,25	Lapangan	707,821	12	96753294	-4,296	2,502	-2,781
291,00	Lapangan	1821,193	20	161255490	-7,160	10,728	-11,925
311,00	Lapangan	809,048	18	145129941	-6,444	4,289	-4,768
331,00	Perletakan	0,000	12	96753294	-4,296	0,000	0,000

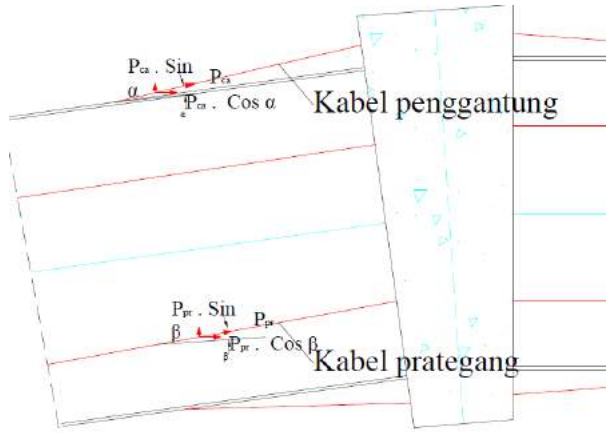
Tabel 4.37 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan pada Kondisi Layan Pasca Perubahan Titik Tekan (Lanjutan).

Station	Keterangan	M _{layan}	Eks, e	M _{Layan} .y/I (Mpa)		Resultan (Mpa)		Keterangan	
(m)	Per/Lap	(N.mm)	(mm)	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
0,00	Perletakan	8,97E+09	0,000	-0,273	0,304	-4,569	-3,992	OK	OK
20,00	Lapangan	3,77E+11	809,048	-11,491	12,773	-14,360	2,356	OK	OK
40,00	Lapangan	5,58E+11	1821,193	-16,987	18,882	-15,207	1,785	OK	OK
70,75	Lapangan	2,91E+11	707,821	-8,855	9,844	-11,067	3,231	OK	OK
101,50	Perletakan	-1,04E+12	-1586,104	20,781	-23,834	2,990	-21,071	OK	OK
133,50	Lapangan	1,84E+11	198,910	-6,721	7,471	-10,314	2,394	OK	OK
165,50	Lapangan	4,28E+11	1349,601	-15,629	17,373	-14,918	2,976	OK	OK
197,50	Lapangan	1,87E+11	198,910	-6,829	7,591	-10,422	2,514	OK	OK
229,50	Perletakan	-1,05E+12	-1586,104	21,006	-24,093	3,103	-21,330	OK	OK
260,25	Lapangan	2,86E+11	707,821	-10,437	11,602	-12,231	3,017	OK	OK
291,00	Lapangan	5,53E+11	1821,193	-20,212	22,467	-16,644	3,383	OK	OK
311,00	Lapangan	3,74E+11	809,048	-13,668	15,193	-15,823	3,318	OK	OK
331,00	Perletakan	6,89E+09	0,000	-0,252	0,280	-4,548	-4,016	OK	OK

4.6. Analisa Tegangan arah Horizontal

Akibat pengaruh titik tangkap eksentrisitas secara horizontal pada kabel penggantung dan kabel prategang yang tak sama mengakibatkan terjadinya gaya tambahan secara horizontal. Selain akibat eksentristas tersebut, pengaruh dari beban lainnya memberikan gaya tambahan terhadap beban tersebut.

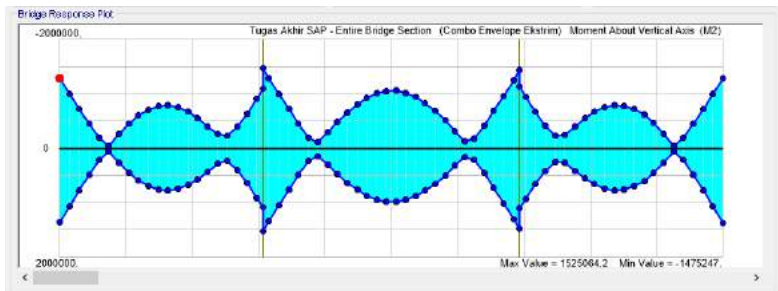
Untuk ilustrasi gaya yang terjadi akibat titik tangkap eksentrisitas yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.55 di bawah ini:



Gambar 4.55 Ilustrasi Gaya Secara Horizontal Akibat Kabel Penggantung dan Kabel Prategang.

4.6.1. Momen arah Horizontal akibat Kabel Prategang

Dalam kontrol tegangan arah horizontal digunakan envelope kombinasi gaya ekstrim di mana hasil dari kombinasi tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.56 Envelope Kombinasi Gaya Ekstrim Arah Horizontal.

Dari gambar di atas ditentukan pengecekan pada station dan station +101,50 m.

4.6.2. Kontrol tegangan arah horizontal

Kontrol tegangan dilakukan pada station dengan data-data sebagai berikut:

Jumlah tendon = 32 tendon

$$\Sigma F_o = 374781088 \text{ N}$$

$$A = 3,90 \times 10^7 \text{ mm}^2$$

$$e = 0,00 \text{ mm}$$

$$y_l = 8000,00 \text{ mm}$$

$$y_r = 8000,00 \text{ mm}$$

$$I = 4,90 \times 10^{14} \text{ mm}^4$$

$$M_L = 1,72 \times 10^{12} \text{ N.mm}$$

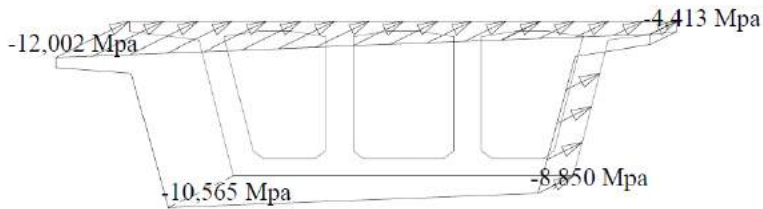
Sehingga pada kondisi layan tegangan yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= -\frac{374781088}{3,09 \times 10^7} + \frac{1,72 \times 10^{12} \times 8000}{4,90 \times 10^{14}} \\ &= -8,207 + 3,759 \text{ Mpa} \\ &= -4,413 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Dan tegangan kiri adalah:

$$\begin{aligned}\sigma_l &= -\frac{374781088}{3,09 \times 10^7} + \frac{1,72 \times 10^{12} \times 8000}{4,90 \times 10^{14}} \\ &= -8,207 - 3,759 \text{ Mpa} \\ &= -12,002 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Secara grafik .tegangan yang terjadi bisa di gambarkan sebagai berikut seperti yang ditampilkan pada gambar 4.55 :



Gambar 4.57 Grafik Tegangan Horizontal.

Nilai dari tegangan kiri ataupun tegangan kanan harus berada di antara tegangan ijin yang diberikan sehingga dengan batas tarik 1,66 Mpa dan batas tekan -26,40 Mpa maka baik tegangan atas dan tegangan bawah berada dalam kondisi memenuhi syarat.

4.7. Koordinat dan eksentrisitas per tendon

Setelah melakukan penyesuaian terhadap momen sekunder yang diakibatkan oleh fokus pada eksentrisitas beton, langkah selanjutnya adalah menentukan masing-masing koordinat untuk tendon yang akan digunakan.

4.7.1. Penentuan Batas Limit Kabel

Batas limit kabel ditinjau untuk kondisi limit atas (ULC) dan kondisi limit bawah (LLC). Untuk kondisi limit atas (ULC) menggunakan Persamaan 4.42 dan untuk kondisi limit bawah (LLC) menggunakan Persamaan 4.43 seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

$$\text{ULC} = Y_a - \text{Kern}_{\text{Top}} + (M_D + M_A)/F_o \quad (4.42)$$

$$\text{LLC} = H - \text{Kern}_{\text{Bottom}} + M_D/F_o \quad (4.43)$$

Dimana,

Y_a = Jarak serat atas terluar terhadap garis netral.(mm)

M_D = Momen akibat beban permanent (N.mm)

M_A = Momen akibat beban mati tambahan (N.mm)

F_o = Gaya jacking pada tendon (N)

H = Tinggi penampang (mm)

Untuk contoh perhitungan digunakan data-data pada station +40,00 meter dengan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 H &= 4500,00 \text{ mm} \\
 Y_a &= 2131,10 \text{ mm} \\
 Y_b &= 2368,90 \text{ mm} \\
 \text{Kern}_{\text{top}} &= 1093,47 \text{ mm} \\
 \text{Kern}_{\text{bot}} &= 1215,48 \text{ mm} \\
 M_D &= 3,62 \times 10^{11} \text{ N.mm} \\
 M_A &= 5,43 \times 10^{10} \text{ N.mm} \\
 F_o &= 2,34 \times 10^8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai ULC dan LLC adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{ULC} &= Y_a - \text{KernTop} + (M_D + M_A)/F_o \\
 &= 2131,10 - 1093,47 + (4,16 \times 10^{11})/2,34 \times 10^8 \\
 &= 2815,60 \text{ mm (dari serat atas)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{LLC} &= H - \text{KernBottom} + M_D/F_o \\
 &= 4500 - 1215,48 + 3,62 \times 10^{11}/2,34 \times 10^8 \\
 &= 4500,00 \text{ mm (dari serat atas)}
 \end{aligned}$$

Sehingga dengan perhitungan dengan Persamaan 4.42 dan Persamaan 4.43 untuk station yang lainnya didapat nilai ULC dan LLC seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.38 Rekapitulasi Perhitungan F_o . dan Tabel 4.39 di bawah ini:

Tabel 4.38 Rekapitulasi Perhitungan Fo.

No	Station	Ya	Yb	Kern Top	Kern bot	Fo
	(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(N)
1	0,00	2131,10	2368,90	1093,47	1215,48	1,41E+08
2	40,00	2131,10	2368,90	1093,47	1215,48	2,34E+08
3	101,50	2096,00	2404,00	932,54	1069,58	3,75E+08
4	165,50	2131,10	2368,90	1093,47	1215,48	2,11E+08
5	229,50	2096,00	2404,00	932,54	1069,58	3,75E+08
6	291,00	2131,10	2368,90	1093,47	1215,48	2,34E+08
7	331,00	2131,10	2368,90	1093,47	1215,48	1,41E+08

Tabel 4.39 Rekapitulasi Perhitungan ULC dan LLC.

No	Station	MD + MA	MD	Dari Bawah		Dari Atas	
				U.L.C	L.L.C	U.L.C	L.L.C
	(m)	(N.mm)	(N.mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	0,00	-3,69E+09	-3,21E+09	3488,62	1078,31	1011,38	3421,69
2	40,00	4,16E+11	3,62E+11	1684,40	-330,57	2815,60	4500,00
3	101,50	-8,26E+11	-7,18E+11	5540,55	2986,11	0,00	1513,89
4	165,50	4,01E+11	3,49E+11	1560,45	-438,36	2939,55	4500,00
5	229,50	-8,25E+11	-7,17E+11	5537,66	2983,59	0,00	1516,41
6	291,00	4,18E+11	3,64E+11	1677,56	-336,52	2822,44	4500,00
7	331,00	-4,55E+09	-3,96E+09	3494,75	993,64	1005,25	3506,36

4.7.2. Koordinat kabel prategang

Koordinat eksentrisitas kabel prategang dihitung dengan asumsi titik berat yang diwakilkan oleh nilai gaya jacking masing-masing kabel. Dimana resultan dari nilai koordinat eksentrisitas kabel mendekati nilai eksentrisitas ekivalen.

Sebagai contoh perhitungan digunakan koordinat ekivalen pada station $\pm 0,00$ meter dengan data sebagai berikut:

$e = 0,00$ mm (2131,10 mm dari serat atas)

U.L.C = 1011,38 mm (dari atas)

L.L.C = 3421,69 mm (dari atas)

Fo per tendon = 11712 kN

Direncanakan ada tiga lapis pada penampang tersebut dengan tendon A (lapis atas), tendon B (lapis tengah), dan tendon C (lapis bawah). Sehingga perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$e'_A \cdot Fo + e'_B \cdot Fo + e'_C \cdot Fo = n \cdot e_{\text{ekivalen}} \cdot Fo \quad (4.44)$$

$$e'_A + e'_B + e'_C = 3 \times 0,00$$

$$e'_A + e'_B + e'_C = 0,00$$

Dengan cara coba-coba didapatkan:

$$e'_A = -1131,10 \quad \text{mm (1000,00 mm dari serat atas) syarat:}$$

$$U.L.C < e'_A < L.L.C$$

$$e'_B = -131,10 \quad \text{mm (2000,00 mm dari serat atas) syarat:}$$

$$U.L.C < e'_B < L.L.C$$

$$e'_C = 1258,90 \quad \text{mm (3390,00 mm dari serat atas) syarat:}$$

$$U.L.C < e'_C < L.L.C$$

Sehingga dengan cara yang sama dapat ditentukan nilai koordinat eksentrisitas masing-masing tendon seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.40 dan Tabel 4.41 berikut:

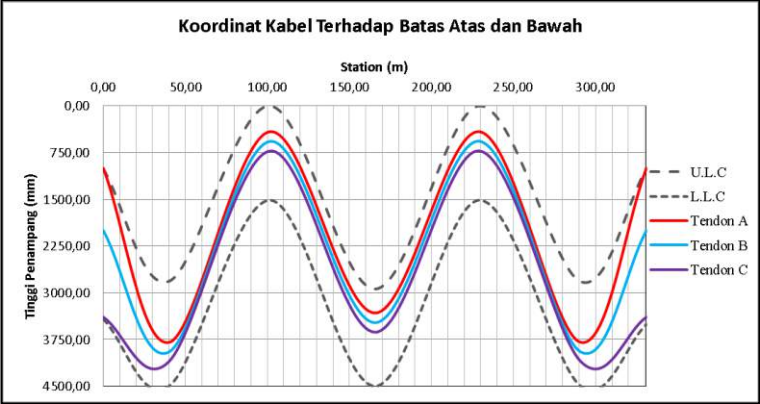
Tabel 4.40 Rekapitulasi Perhitungan Eksentrisitas.

No.	Station	e	y (dari atas)	Ket	y (dari atas)	e'	e average	Δe
	(m)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)		
1	0,00	0,00	2131,100	Tendon A	1000,00	-1131,10	-1,10	1,10
				Tendon B	2000,00	-131,10		
				Tendon C	3390,00	1258,90		
2	40,00	1821,19	3952,293	Tendon A	3796,00	1664,90	1821,40	0,21
				Tendon B	3950,00	1818,90		
				Tendon C	4104,00	1972,90		
				Tendon D	3960,00	1828,90		
3	101,50	-1586,10	509,896	Tendon A	416,00	-1715,10	-1585,10	1,00
				Tendon B	570,00	-1561,10		
				Tendon C	724,00	-1407,10		
				Tendon D	433,00	-1698,10		
				Tendon E	587,00	-1544,10		

Tabel 4.41 Rekapitulasi Perhitungan Eksentrisitas (Lanjutan).

No.	Station	e	y (dari atas)	Ket	y (dari atas)	e'	e average	Δe
	(m)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
4	165,50	1349,60	3480,701	Tendon A	3326,00	1194,90	1348,90	0,70
				Tendon B	3480,00	1348,90		
				Tendon C	3634,00	1502,90		
				Tendon D	3480,00	1348,90		
5	229,50	-1586,10	509,896	Tendon A	416,00	-1715,10	-1585,10	1,00
				Tendon B	570,00	-1561,10		
				Tendon C	724,00	-1407,10		
				Tendon D	433,00	-1698,10		
				Tendon E	587,00	-1544,10		
6	291,00	1821,19	3952,293	Tendon A	3796,00	1664,90	1821,40	0,21
				Tendon B	3950,00	1818,90		
				Tendon C	4104,00	1972,90		
				Tendon D	3960,00	1828,90		
7	331,00	0,00	2131,100	Tendon A	1000,00	-1131,10	-1,10	1,10
				Tendon B	2000,00	-131,10		
				Tendon C	3390,00	1258,90		

Sehingga dari koordinat-koordinat tersebut dikontrol terhadap U.L.C dan L.L.C sehingga didapat seperti grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.58 Grafik Koordinat Kabel terhadap Batas Atas dan Bawah.

Untuk masing-masing koordinat kabel prategang dapat di rangkum sebagai berikut:

Tabel 4.42 Rekapitulasi Koordinat Kabel Tendon A.

No.	Station	Y (dari atas)
1	0,00	1000,00
2	40,00	3796,00
3	101,50	416,00
4	165,50	3326,00
5	229,50	416,00
6	291,00	3796,00
7	331,00	1000,00

Tabel 4.43 Rekapitulasi Koordinat Kabel Tendon B.

No.	Station	Y (dari atas)
1	0,00	2000,00
2	40,00	3950,00
3	101,50	570,00
4	165,50	3480,00
5	229,50	570,00
6	291,00	3950,00
7	331,00	2000,00

Tabel 4.44 Rekapitulasi Koordinat Kabel Tendon C.

No.	Station	Y (dari atas)
1	0,00	3390,00
2	40,00	4104,00
3	101,50	724,00
4	165,50	3634,00
5	229,50	724,00
6	291,00	4104,00
7	331,00	3390,00

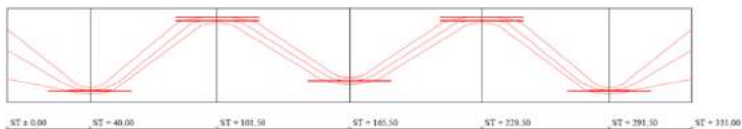
Tabel 4.45 Rekapitulasi Koordinat Kabel Tendon D.

No.	Station	Y (dari atas)
1	0,00	0,00
2	40,00	3960,00
3	101,50	433,00
4	165,50	3480,00
5	229,50	433,00
6	291,00	3960,00
7	331,00	0,00

Tabel 4.46 Rekapitulasi Koordinat Kabel Tendon E.

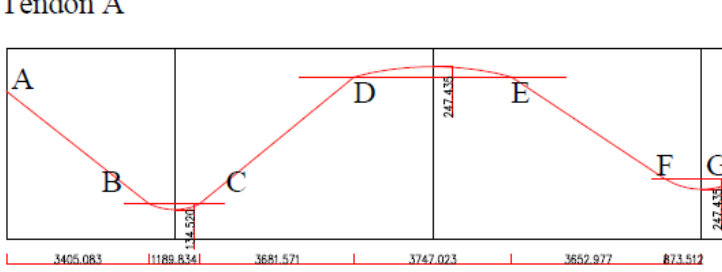
No.	Station	Y (dari atas)
1	0,00	0,00
2	40,00	0,00
3	101,50	587,00
4	165,50	0,00
5	229,50	587,00
6	291,00	0,00
7	331,00	0,00

Dari data tersebut kemudian diploting terhadap tinggi penampang sehingga didapatkan plotting seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.57 hingga Gambar 4.62 berikut:



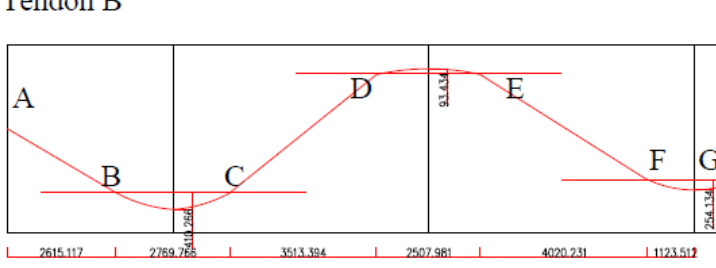
Gambar 4.59 Ploting Koordinat Kabel terhadap Tinggi Penampang.

Tendon A



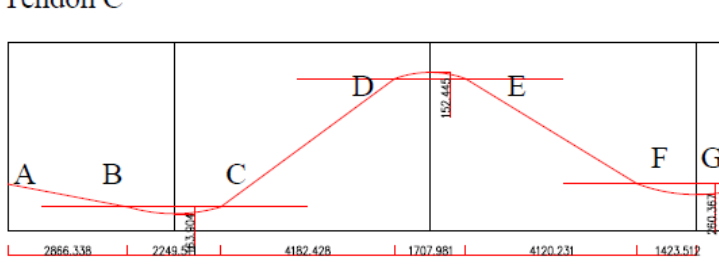
Gambar 4.60 Ploting Koordinat Tendon A terhadap Tinggi Penampang.

Tendon B



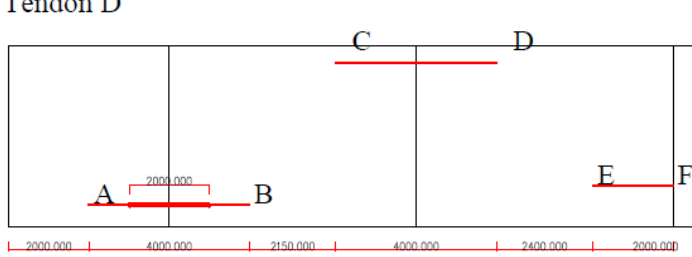
Gambar 4.61 Ploting Koordinat Tendon B terhadap Tinggi Penampang.

Tendon C



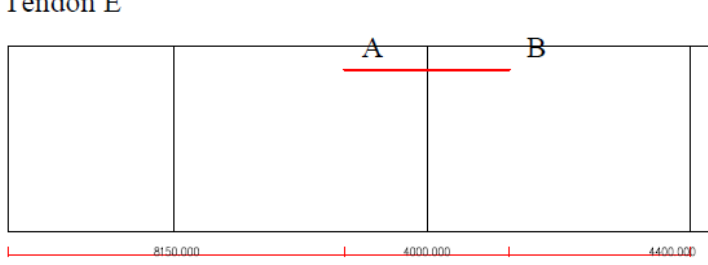
Gambar 4.62 Ploting Koordinat Tendon C terhadap Tinggi Penampang.

Tendon D



Gambar 4.63 Ploting Koordinat Tendon D terhadap Tinggi Penampang.

Tendon E



Gambar 4.64 Ploting Koordinat Tendon E terhadap Tinggi Penampang.

4.8. Kehilangan Gaya Prategang pada Kabel Prategang

Kehilangan gaya pada prategang dihitung terhadap dua kondisi yaitu kondisi kehilangan seketika dan kehilangan jangka panjang.

4.8.1. Kehilangan gaya prategang seketika

Untuk kehilangan gaya prategang seketika dianalisa terhadap dua hal yaitu kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis (ES) dan kehilangan gaya prategang akibat friksi dan Wobble Effect (WE).

4.8.1.1. Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis (ES).

Dalam perhitungan kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis dihitung berdasarkan Persamaan 4.45 yang ada di bawah ini:

$$ES = K_{es} \times E_s \times \frac{f_{cir}}{E_{ci}} \quad (4.45)$$

Dengan nilai f_{cir} adalah sebagai berikut:

$$f_{cir} = -\frac{F_o}{A} \quad (4.46)$$

Dimana :

ES = kehilangan prategang akibat perpendekan elastik beton (MPa).

K_{es} = koefisien elastis 0,5 (pascatarik).

Es = modulus elastisitas kabel baja (MPa).

E_{ci} = modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang (MPa).

f_{cir} = tegangan beton pada c.g.s akibat gaya prategang efektif (MPa).

Sebagai contoh perhitungan digunakan tendon yang diberi gaya prategang pertama kali (tendon satu) dengan data sebagai berikut:

K_{es} = 0,50 (pascatarik).

Es = 195.000 Mpa

E_{ci} = 31176,273 Mpa

f_{cir} = 0,524 Mpa

Sehingga nilai ES adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} ES &= 0,50 \times 195.000 \times \frac{0,524}{31176,273} \\ &= 3,275 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Secara kumulatif didapatkan kehilangan total yang terjadi adalah 6,73%. Berikut adalah perhitungan nilai kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis yang ditampilkan pada Tabel 4.47 hingga Tabel 4.49 berikut:

Tabel 4.47 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis.

Urutan Penarikan	Tendon	Fo	Ac	f _{cir}	ES	Kumulatif	Kehilangan
		N	mm ²	Mpa	Mpa		
1	1	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	99,973	6,73%
	2	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
	3	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
2	4	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	96,698	6,51%
	5	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
	6	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
3	7	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	93,422	6,29%
	8	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
	9	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
4	10	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	90,147	6,07%
	11	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
	12	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
5	13	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	86,871	5,85%
	14	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
	15	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
6	16	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	83,596	5,63%
	17	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
	18	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
7	19	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	80,321	5,41%
	20	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
8	21	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	77,045	5,18%
	22	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275		
9	23	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	73,770	4,96%
	24	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
10	25	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	71,878	4,84%
	26	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		

Tabel 4.48 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis.

Urutan Penarikan	Tendon	Fo	Ac	f _{cir}	ES	Kumulatif	Kehilangan
		N	mm ²	Mpa	Mpa		
11	27	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	69,986	4,71%
	28	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
12	29	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	68,094	4,58%
	30	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
13	31	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	66,202	4,46%
	32	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
14	33	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	64,311	4,33%
	34	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
15	35	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	62,419	4,20%
	36	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
16	37	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	60,527	4,07%
	38	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
17	39	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	58,635	3,95%
	40	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
18	41	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	56,743	3,82%
	42	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
19	43	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	54,851	3,69%
	44	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
20	45	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	52,960	3,56%
	46	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
21	47	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	51,068	3,44%
	48	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
22	49	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	49,176	3,31%
	50	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
23	51	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	47,284	3,18%
	52	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		

Tabel 4.49 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis.

Urutan Penarikan	Tendon	Fo	Ac	f _{cir}	ES	Kumulatif	Kehilangan
		N	mm ²	Mpa	Mpa		
24	53	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	45,392	3,05%
	54	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
25	55	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	43,500	2,93%
	56	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
26	57	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	41,609	2,80%
	58	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
27	59	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	39,717	2,67%
	60	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
28	61	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892	37,825	2,55%
	62	1,17E+07	3,87E+07	0,302	1,892		
29	63	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	35,933	2,42%
30	64	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	32,658	2,20%
31	65	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	29,382	1,98%
32	66	1,17E+07	2,24E+07	0,524	3,275	26,107	1,76%
33	67	1,17E+07	2,25E+07	0,521	3,262	22,831	1,54%
34	68	1,17E+07	2,25E+07	0,521	3,262	19,570	1,32%
35	69	1,17E+07	2,25E+07	0,521	3,262	16,308	1,10%
36	70	1,17E+07	2,25E+07	0,521	3,262	13,046	0,88%
37	71	1,17E+07	2,25E+07	0,521	3,262	9,785	0,66%
38	72	1,17E+07	2,25E+07	0,521	3,262	6,523	0,44%
39	73	1,17E+07	2,25E+07	0,521	3,262	3,262	0,22%
40	74	1,17E+07	2,25E+07	0,521	3,262	0	0,00%

4.8.2. Kehilangan gaya prategang akibat gesekan dan wobble effect (WE)

Pada kasus ini kehilangan gaya prategang terjadi karena pengaruh panjang dan lengkungan yang mengakibatkan terjadinya gesekan pada kabel prategang pada saat jacking. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan wobble effect ditunjukkan pada Persamaan 4.47 di bawah ini:

$$F_x = F_0 e^{-\mu\alpha + KL} \quad (4.47)$$

Dimana :

Tabel 4.51 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Friksi dan *Wobble Effect* pada Tendon B.

Segmen		L (m)	Ket	f (mm)	α	$(\mu\alpha + KL)$	$e^{-(\mu\alpha + KL)}$	Tegangan pada akhir
Awal	Akhir							
A	B	26,151	Lin	0,000	0,000	0,042	0,959	0,959
B	C	27,697	Par	410,266	0,119	0,062	0,940	0,901
C	D	33,134	Lin	0,000	0,000	0,053	0,948	0,855
D	E	25,079	Par	93,434	0,030	0,045	0,956	0,817
E	F	40,202	Lin	0,000	0,000	0,064	0,938	0,767
F	G	11,235	Par	254,134	0,181	0,045	0,956	0,733
Kehilangan Terbesar (%)								26,73%

Tabel 4.52 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Friksi dan *Wobble Effect* pada Tendon C.

Segmen		L (m)	Ket	f (mm)	α	$(\mu\alpha + KL)$	$e^{-(\mu\alpha + KL)}$	Tegangan pada akhir
Awal	Akhir							
A	B	28,663	Lin	0,000	0,000	0,046	0,955	0,955
B	C	22,495	Par	163,904	0,058	0,045	0,956	0,913
C	D	41,824	Lin	0,000	0,000	0,067	0,935	0,854
D	E	17,079	Par	152,445	0,071	0,038	0,963	0,822
E	F	41,202	Lin	0,000	0,000	0,066	0,936	0,770
F	G	14,235	Par	260,367	0,146	0,045	0,956	0,736
Kehilangan Terbesar (%)								26,38%

Tabel 4.53 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Friksi dan *Wobble Effect* pada Tendon D.

Segmen		L (m)	Ket	f (mm)	α	$(\mu\alpha + KL)$	$e^{-(\mu\alpha + KL)}$
Awal	Akhir						
A	B	20,000	Lin	0,000	0,000	0,032	0,969
C	D	20,000	Lin	0,000	0,000	0,032	0,969
E	F	20,000	Lin	0,000	0,000	0,032	0,969

Tabel 4.54 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Friksi dan *Wobble Effect* pada Tendon E.

Segmen		L (m)	Ket	f (mm)	α	$(\mu\alpha + KL)$	$e^{-(\mu\alpha + KL)}$
Awal	Akhir						
A	B	20,000	Lin	0,000	0,000	0,032	0,969

Pada Tabel 4.50 hingga Tabel 4.54, Lin (linier) menunjukkan bahwa tendon tidak memiliki titik fokus dan Par (parabola) menunjukkan segmen tendon memiliki nilai titik fokus. Untuk tendon D dan E dikarenakan tidak memiliki titik fokus maka dengan panjang 20,00 meter kehilangan pada tengah bentang adalah 3,10%.

4.8.3. Kehilangan gaya prategang jangka panjang (fungsi waktu)

Untuk perhitungan kehilangan gaya prategang jangka panjang, kondisi-kondisi yang dihitung adalah kehilangan akibat rangkai beton (CR), kehilangan akibat susut beton (SH), dan kehilangan akibat relaksasi baja (RE).

4.8.3.1. Kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton (CR)

Rangkai beton (CR) adalah penambahan regangan terhadap waktu akibat adanya pengaruh beban luar. Pada perhitungan rangkai beton digunakan Persamaan 4.48 seperti yang ditampilkan di bawah ini:

$$CR = K_{CR} \times \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds}) \quad (4.48)$$

Dimana:

CR = kehilangan prategang akibat rangkai beton (MPa).

K_{cr} = koefisien elastis 1,6 (pascatarik).

E_s = modulus elastisitas baja (MPa).

- E_c = modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang (MPa).
 f_{cir} = tegangan beton pada c.g.s akibat gaya prategang efektif segera setelah gaya prategang telah dikerjakan pada beton (MPa).
 f_{cds} = tegangan beton pada c.g.s akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang (MPa).

Sebagai contoh perhitungan digunakan sampel perhitungan pada station +40,00 meter dengan data-data sebagai berikut:

- $K_{cr} = 1,6$
- $E_s = 195.000 \quad \text{Mpa}$
- $E_c = 33.234 \quad \text{Mpa}$
- $F_o = 140543 \quad \text{kN}$
- $M_g = 362145 \quad \text{kN.m}$
- $e = 1821,40 \quad \text{mm}$
- $A = 2,25 \times 10^7 \quad \text{mm}^2$
- $P_{uG} = 1974,079 \quad \text{kN (gaya aksial akibat beban permanent)}$
- $I = 5,83 \times 10^{13} \quad \text{mm}^4$

Berikut adalah perhitungannya:

$$\begin{aligned} f_{cir} &= \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \cdot e^2}{I} \\ &= \frac{140543 \times 10^3}{2,25 \times 10^7} + \frac{140543 \times 10^3 \times 1821,40^2}{5,83 \times 10^{13}} \\ &= 14,232 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cds} &= \frac{F_o}{A} + \frac{P_u}{A} + \frac{M_g \cdot e}{I} \\ &= \frac{140543 \times 10^3}{2,25 \times 10^7} + \frac{1974,079 \times 10^3}{2,25 \times 10^7} + \frac{362145 \times 10^6 \times 1821,40}{5,83 \times 10^{13}} \\ &= 25,625 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{c1r} - f_{c1ds} &= 14,232 - 25,625 \\ &= -11,394 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR &= \frac{195.000}{33.234} (-11,394) \\ &= -106,96 \text{ Mpa (7,20\%)} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan station yang lain juga menggunakan Persamaan 4.48 di mana hasil dari perhitungan ditampilkan pada Tabel 4.55 hingga Tabel 4.57 di bawah ini:

Tabel 4.55 Rekapitulasi Perhitungan Akibat Rangkak Beton.

No.	Station	A	I _x	e
	(m)	(mm ²)	(mm ⁴)	(mm)
1	0,00	2,25E+07	5,83E+13	-1,10
2	40,00	2,25E+07	5,83E+13	1821,40
3	101,50	3,90E+07	8,74E+13	-1585,10
4	165,50	2,25E+07	5,83E+13	1348,90
5	229,50	3,90E+07	8,74E+13	-1585,10
6	291,00	2,25E+07	5,83E+13	1821,40
7	331,00	2,25E+07	5,83E+13	-1,10

Tabel 4.56 Rekapitulasi Perhitungan Akibat Rangkak Beton
(Lanjutan).

No.	Station (m)	Pu.g (kN)	Mg (kN.m)	Fo (kN)	Fcir (Mpa)
1	0,00	1,95E+03	-3,21E+03	140543	6,240
2	40,00	1,97E+03	3,62E+05	140543	14,232
3	101,50	1,67E+04	-7,18E+05	374781	20,394
4	165,50	-6,41E+03	3,49E+05	140543	10,623
5	229,50	1,93E+04	-7,17E+05	374781	20,394
6	291,00	4,42E+03	3,62E+05	140543	14,232
7	331,00	4,39E+03	-3,96E+03	140543	6,240

Tabel 4.57 Rekapitulasi Perhitungan Akibat Rangkak Beton
(Lanjutan 2).

No.	Station (m)	Fcds (Mpa)	Fcir - Fcds (Mpa)	CR (Mpa)	%
1	0,00	6,327	0,087	0,81	0,05%
2	40,00	25,626	11,394	106,96	7,20%
3	101,50	33,852	13,458	126,35	8,50%
4	165,50	18,400	7,777	73,01	4,91%
5	229,50	33,902	13,508	126,82	8,53%
6	291,00	25,734	11,502	107,98	7,27%
7	331,00	6,435	0,195	1,83	0,12%

4.8.3.2. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton (SH).

Susut beton adalah perubahan nilai regangan pada beton akibat pengaruh dari faktor internal beton. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton diperhitungkan dengan Persamaan 4.49 berikut:

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_s \left(1 - 0,0236 \frac{V}{S}\right) (100 - RH) \quad (4.49)$$

Dimana:

SH = kehilangan prategang akibat susut beton (MPa).

K_{SH} = koefisien susut 0,8.

E_s = modulus elastisitas baja (MPa).

V = volume beton per satuan panjang (cm^3).

S = luas permukaan per satuan panjang (cm^2)

RH = kelembaban relatif.

Sebagai contoh perhitungan akan digunakan data-data yang ada pada station +101,50 meter yaitu:

$$V = 2,25 \times 10^7 \text{ cm}^3$$

$$s = 3,88 \times 10^4 \text{ cm}^2$$

$$V/s = 58,09 \text{ cm}$$

$$RH = 80,00 \%$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} SH &= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,80 \times 195.000 (1 - 0,0236 \times 58,09) \times (100 \\ &\quad - 80) \\ &= -9,14 \% \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan pada station lainnya ditunjukkan pada Tabel 4.58 di bawah ini:

Tabel 4.58 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kehilangan akibat Susut Beton.

No.	Station	v	s	v/s	SH	% per tendon
	(m)	(mm ²)	(mm)		(%)	
1	0,00	2,25E+07	3,88E+04	58,109	-9,14%	-0,76%
2	40,00	2,25E+07	3,88E+04	58,109	-9,14%	-0,46%
3	101,50	3,90E+07	3,88E+04	100,553	-33,81%	-1,06%
4	165,50	2,25E+07	3,88E+04	58,109	-9,14%	-0,51%
5	229,50	3,90E+07	3,88E+04	100,553	-33,81%	-1,06%
6	291,00	2,25E+07	3,88E+04	58,109	-9,14%	-0,46%
7	331,00	2,25E+07	3,88E+04	58,109	-9,14%	-0,76%

4.8.3.3. Kehilangan gaya prategang akibat Relaksasi baja (RE).

Kehilangan tegangan akibat relaksasi baja dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.50 dibawah ini :

$$RE = (K_{RE} - J(SH + CR + SE)) \times C \quad (4.50)$$

Dimana :

RE = kehilangan prategang akibat relaksasi baja (MPa).

K_{RE} = koefisien relaksasi 128 MPa

J = 0,14.

SH = kehilangan prategang akibat susut beton (MPa).

CR = kehilangan prategang akibat rangkai (MPa).

ES = kehilangan prategang akibat perpendekan elastik beton (MPa).

C = 1,00 (ambil nilai $f_{pi}/f_{pu} = 0,7$).

Dengan memasukan nilai faktor yang ada dan beberapa faktor kehilangan gaya prategang yang diperlukan maka dapat ditentukan nilai kehilangan tegangan akibat relaksasi baja seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.59 hingga Tabel 4.62 berikut:

Tabel 4.59 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Relaksasi Baja (Tendon 1-18).

No.	Tendon	SH	CR	ES	RE	%
		(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	
1	1	11,324	126,35	99,973	23,949	1,61%
2	2	7,550	126,35	99,973	24,116	1,62%
3	3	11,324	126,35	99,973	23,949	1,61%
4	4	11,324	126,35	96,698	24,094	1,62%
5	5	7,550	126,35	96,698	24,262	1,63%
6	6	11,324	126,35	96,698	24,094	1,62%
7	7	11,324	126,35	93,422	24,240	1,63%
8	8	7,550	126,35	93,422	24,407	1,64%
9	9	11,324	126,35	93,422	24,240	1,63%
10	10	11,324	126,35	90,147	24,385	1,64%
11	11	7,550	126,35	90,147	24,553	1,65%
12	12	11,324	126,35	90,147	24,385	1,64%
13	13	11,324	126,35	86,871	24,530	1,65%
14	14	7,550	126,35	86,871	24,698	1,66%
15	15	11,324	126,35	86,871	24,530	1,65%
16	16	11,324	126,35	83,596	24,676	1,66%
17	17	7,550	126,35	83,596	24,843	1,67%
18	18	11,324	126,35	83,596	24,676	1,66%

Tabel 4.60 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Relaksasi Baja (Tendon 19-36).

No.	Tendon	SH	CR	ES	RE	%
		(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	
19	19	11,324	126,35	80,321	24,821	1,67%
20	20	11,324	126,35	80,321	24,821	1,67%
21	21	11,324	126,35	77,045	24,967	1,68%
22	22	11,324	126,35	77,045	24,967	1,68%
23	23	15,701	126,35	73,770	24,918	1,68%
24	24	15,701	126,35	73,770	24,918	1,68%
25	25	15,701	126,35	71,878	25,002	1,68%
26	26	15,701	126,35	71,878	25,002	1,68%
27	27	15,701	126,35	69,986	25,086	1,69%
28	28	15,701	126,35	69,986	25,086	1,69%
29	29	15,701	126,35	68,094	25,170	1,69%
30	30	15,701	126,35	68,094	25,170	1,69%
31	31	15,701	126,35	66,202	25,254	1,70%
32	32	15,701	126,35	66,202	25,254	1,70%
33	33	15,701	126,35	64,311	25,338	1,71%
34	34	15,701	126,35	64,311	25,338	1,71%
35	35	15,701	126,35	62,419	25,422	1,71%
36	36	15,701	126,35	62,419	25,422	1,71%

Tabel 4.61 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Relaksasi Baja (Tendon 37-54).

No.	Tendon	SH	CR	ES	RE	%
		(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	
37	37	15,701	126,35	60,527	25,506	1,72%
38	38	15,701	126,35	60,527	25,506	1,72%
39	39	15,701	126,35	58,635	25,590	1,72%
40	40	15,701	126,35	58,635	25,590	1,72%
41	41	15,701	126,35	56,743	25,674	1,73%
42	42	15,701	126,35	56,743	25,674	1,73%
43	43	15,701	126,35	54,851	25,758	1,73%
44	44	15,701	126,35	54,851	25,758	1,73%
45	45	15,701	126,35	52,960	25,842	1,74%
46	46	15,701	126,35	52,960	25,842	1,74%
47	47	15,701	126,35	51,068	25,926	1,74%
48	48	15,701	126,35	51,068	25,926	1,74%
49	49	15,701	126,35	49,176	26,010	1,75%
50	50	15,701	126,35	49,176	26,010	1,75%
51	51	15,701	126,35	47,284	26,094	1,76%
52	52	15,701	126,35	47,284	26,094	1,76%
53	53	15,701	126,35	45,392	26,178	1,76%
54	54	15,701	126,35	45,392	26,178	1,76%

Tabel 4.62 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Akibat Relaksasi Baja (Tendon 55-74).

No.	Tendon	SH	CR	ES	RE	%
		(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	
55	55	15,701	126,35	43,500	26,262	1,77%
56	56	15,701	126,35	43,500	26,262	1,77%
57	57	15,701	126,35	41,609	26,346	1,77%
58	58	15,701	126,35	41,609	26,346	1,77%
59	59	15,701	126,35	39,717	26,430	1,78%
60	60	15,701	126,35	39,717	26,430	1,78%
61	61	15,701	126,35	37,825	26,514	1,78%
62	62	15,701	126,35	37,825	26,514	1,78%
63	63	15,701	126,35	35,933	26,598	1,79%
64	64	15,701	126,35	32,658	26,743	1,80%
65	65	15,701	126,35	29,382	26,889	1,81%
66	66	15,701	126,35	26,107	27,034	1,82%
67	67	15,701	126,35	22,831	27,179	1,83%
68	68	15,701	126,35	19,570	27,324	1,84%
69	69	15,701	126,35	16,308	27,469	1,85%
70	70	15,701	126,35	13,046	27,614	1,86%
71	71	15,701	126,35	9,785	27,759	1,87%
72	72	15,701	126,35	6,523	27,904	1,88%
73	73	15,701	126,35	3,262	28,048	1,89%
74	74	15,701	126,35	0,000	28,193	1,90%

4.8.4. Rekapitulasi Kehilangan Gaya Prategang

Setelah mendapat nilai kehilangan gaya prategang pada masing-masing faktor kemudian kehilangan gaya tersebut direkapitulasi hingga mendapat rekapitulasi per tendon dan rekapitulasi per segmen yang dianalisa.

4.8.4.1. Kehilangan gaya prategang per tendon

Pada Tabel 4.63 hingga Tabel 4.66 berikut ditampilkan rekapitulasi kehilangan gaya prategang pada masing-masing tendon

Tabel 4.63 Rekapitulasi Total Kehilangan Gaya Prategang pada Tendon 1-18.

No.	No. Tendon	Kehilangan Seketika			Kehilangan Jangka Panjang				Σ
		ES	WE	Σ	CR	SH	RE	Σ	
1	1	6,73%	3,15%	9,88%	7,20%	0,76%	1,61%	9,57%	19,45%
2	2	6,73%	3,15%	9,88%	7,20%	0,51%	1,62%	9,33%	19,21%
3	3	6,73%	3,15%	9,88%	7,20%	0,76%	1,61%	9,57%	19,45%
4	4	6,51%	3,15%	9,66%	7,20%	0,76%	1,62%	9,58%	19,24%
5	5	6,51%	3,15%	9,66%	7,20%	0,51%	1,63%	9,34%	19,00%
6	6	6,51%	3,15%	9,66%	7,20%	0,76%	1,62%	9,58%	19,24%
7	7	6,29%	3,15%	9,44%	7,20%	0,76%	1,63%	9,59%	19,03%
8	8	6,29%	3,15%	9,44%	7,20%	0,51%	1,64%	9,35%	18,78%
9	9	6,29%	3,15%	9,44%	7,20%	0,76%	1,63%	9,59%	19,03%
10	10	6,07%	3,15%	9,22%	7,20%	0,76%	1,64%	9,60%	18,82%
11	11	6,07%	3,15%	9,22%	7,20%	0,51%	1,65%	9,36%	18,57%
12	12	6,07%	3,15%	9,22%	7,20%	0,76%	1,64%	9,60%	18,82%
13	13	5,85%	3,15%	9,00%	7,20%	0,76%	1,65%	9,61%	18,61%
14	14	5,85%	3,15%	9,00%	7,20%	0,51%	1,66%	9,37%	18,36%
15	15	5,85%	3,15%	9,00%	7,20%	0,76%	1,65%	9,61%	18,61%
16	16	5,63%	3,15%	8,77%	7,20%	0,76%	1,66%	9,62%	18,40%
17	17	5,63%	3,15%	8,77%	7,20%	0,51%	1,67%	9,38%	18,15%
18	18	5,63%	3,15%	8,77%	7,20%	0,76%	1,66%	9,62%	18,40%

Tabel 4.64 Rekapitulasi Total Kehilangan Gaya Prategang pada Tendon 19-36.

No.	No. Tendon	Kehilangan Seketika			Kehilangan Jangka Panjang				Σ
		ES	WE	Σ	CR	SH	RE	Σ	
19	19	5,41%	3,15%	8,55%	7,20%	0,76%	1,67%	9,63%	18,19%
20	20	5,41%	3,15%	8,55%	7,20%	0,76%	1,67%	9,63%	18,19%
21	21	5,18%	3,15%	8,33%	7,20%	0,76%	1,68%	9,64%	17,97%
22	22	5,18%	3,15%	8,33%	7,20%	0,76%	1,68%	9,64%	17,97%
23	23	4,96%	3,15%	8,11%	7,20%	1,06%	1,68%	9,93%	18,05%
24	24	4,96%	3,15%	8,11%	7,20%	1,06%	1,68%	9,93%	18,05%
25	25	4,84%	3,15%	7,99%	7,20%	1,06%	1,68%	9,94%	17,92%
26	26	4,84%	3,15%	7,99%	7,20%	1,06%	1,68%	9,94%	17,92%
27	27	4,71%	3,15%	7,86%	7,20%	1,06%	1,69%	9,94%	17,80%
28	28	4,71%	3,15%	7,86%	7,20%	1,06%	1,69%	9,94%	17,80%
29	29	4,58%	3,15%	7,73%	7,20%	1,06%	1,69%	9,95%	17,68%
30	30	4,58%	3,15%	7,73%	7,20%	1,06%	1,69%	9,95%	17,68%
31	31	4,46%	3,15%	7,60%	7,20%	1,06%	1,70%	9,95%	17,56%
32	32	4,46%	3,15%	7,60%	7,20%	1,06%	1,70%	9,95%	17,56%
33	33	4,33%	3,15%	7,48%	7,20%	1,06%	1,71%	9,96%	17,44%
34	34	4,33%	3,15%	7,48%	7,20%	1,06%	1,71%	9,96%	17,44%
35	35	4,20%	3,15%	7,35%	7,20%	1,06%	1,71%	9,97%	17,32%
36	36	4,20%	3,15%	7,35%	7,20%	1,06%	1,71%	9,97%	17,32%

Tabel 4.65 Rekapitulasi Total Kehilangan Gaya Prategang pada Tendon 37-54.

No.	No. Tendon	Kehilangan Seketika			Kehilangan Jangka Panjang				Σ
		ES	WE	Σ	CR	SH	RE	Σ	
37	37	4,07%	3,15%	7,22%	7,20%	1,06%	1,72%	9,97%	17,19%
38	38	4,07%	3,15%	7,22%	7,20%	1,06%	1,72%	9,97%	17,19%
39	39	3,95%	3,15%	7,10%	7,20%	1,06%	1,72%	9,98%	17,07%
40	40	3,95%	3,15%	7,10%	7,20%	1,06%	1,72%	9,98%	17,07%
41	41	3,82%	3,15%	6,97%	7,20%	1,06%	1,73%	9,98%	16,95%
42	42	3,82%	3,15%	6,97%	7,20%	1,06%	1,73%	9,98%	16,95%
43	43	3,69%	3,15%	6,84%	7,20%	1,06%	1,73%	9,99%	16,83%
44	44	3,69%	3,15%	6,84%	7,20%	1,06%	1,73%	9,99%	16,83%
45	45	3,56%	3,15%	6,71%	7,20%	1,06%	1,74%	9,99%	16,71%
46	46	3,56%	3,15%	6,71%	7,20%	1,06%	1,74%	9,99%	16,71%
47	47	3,44%	3,15%	6,59%	7,20%	1,06%	1,74%	10,00%	16,59%
48	48	3,44%	3,15%	6,59%	7,20%	1,06%	1,74%	10,00%	16,59%
49	49	3,31%	3,15%	6,46%	7,20%	1,06%	1,75%	10,01%	16,46%
50	50	3,31%	3,15%	6,46%	7,20%	1,06%	1,75%	10,01%	16,46%
51	51	3,18%	3,15%	6,33%	7,20%	1,06%	1,76%	10,01%	16,34%
52	52	3,18%	3,15%	6,33%	7,20%	1,06%	1,76%	10,01%	16,34%
53	53	3,05%	3,15%	6,20%	7,20%	1,06%	1,76%	10,02%	16,22%
54	54	3,05%	3,15%	6,20%	7,20%	1,06%	1,76%	10,02%	16,22%

Tabel 4.66 Rekapitulasi Total Kehilangan Gaya Prategang pada Tendon 55-74.

No.	No. Tendon	Kehilangan Seketika			Kehilangan Jangka Panjang				Σ
		ES	WE	Σ	CR	SH	RE	Σ	
55	55	2,93%	3,15%	6,08%	7,20%	1,06%	1,77%	10,02%	16,10%
56	56	2,93%	3,15%	6,08%	7,20%	1,06%	1,77%	10,02%	16,10%
57	57	2,80%	3,15%	5,95%	7,20%	1,06%	1,77%	10,03%	15,98%
58	58	2,80%	3,15%	5,95%	7,20%	1,06%	1,77%	10,03%	15,98%
59	59	2,67%	3,15%	5,82%	7,20%	1,06%	1,78%	10,03%	15,86%
60	60	2,67%	3,15%	5,82%	7,20%	1,06%	1,78%	10,03%	15,86%
61	61	2,55%	3,15%	5,69%	7,20%	1,06%	1,78%	10,04%	15,73%
62	62	2,55%	3,15%	5,69%	7,20%	1,06%	1,78%	10,04%	15,73%
63	63	2,42%	27,41%	29,82%	7,20%	1,06%	1,79%	10,04%	39,87%
64	64	2,20%	26,38%	28,57%	7,20%	1,06%	1,80%	10,05%	38,63%
65	65	1,98%	27,41%	29,38%	7,20%	1,06%	1,81%	10,06%	39,45%
66	66	1,76%	26,38%	28,13%	7,20%	1,06%	1,82%	10,07%	38,21%
67	67	1,54%	27,41%	28,94%	7,20%	1,06%	1,83%	10,08%	39,03%
68	68	1,32%	26,38%	27,69%	7,20%	1,06%	1,84%	10,09%	37,79%
69	69	1,10%	27,41%	28,50%	7,20%	1,06%	1,85%	10,10%	38,61%
70	70	0,88%	26,38%	27,25%	7,20%	1,06%	1,86%	10,11%	37,37%
71	71	0,66%	26,73%	27,39%	7,20%	1,06%	1,87%	10,12%	37,51%
72	72	0,44%	26,73%	27,17%	7,20%	1,06%	1,88%	10,13%	37,30%
73	73	0,22%	26,73%	26,95%	7,20%	1,06%	1,89%	10,14%	37,09%
74	74	0,00%	26,73%	26,73%	7,20%	1,06%	1,90%	10,15%	36,88%

Berdasarkan hasil perhitungan kehilangan terbesar didapatkan pada tendon nomer 63 dengan kehilangan 39,45%.

4.8.4.2. Rekapitulasi Kehilangan Gaya Prategang per Station

Berikut ditampilkan kehilangan gaya prategang per station yang ditunjukkan pada Tabel 4.67 hingga Tabel 4.69:

Tabel 4.67 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Seketika Gaya
Pratekan Station 1-7.

No.	Station	Kehilangan Seketika (%)			
		ES	SA	WE	Σ
1	0,00	14,50%	36,00%	0,00%	50,50%
2	40,00	62,15%	0,00%	129,19%	191,34%
3	101,50	164,69%	0,00%	271,39%	436,08%
4	165,50	51,56%	0,00%	340,93%	392,49%
5	229,50	164,69%	0,00%	271,39%	436,08%
6	291,00	62,15%	0,00%	129,19%	191,34%
7	331,00	14,50%	36,00%	0,00%	50,50%

Tabel 4.68 Rekapitulasi Perhitungan Kehilangan Jangka Panjang
Gaya Pratekan Station 1-7.

No.	Station	Kehilangan Jangka Panjang (%)			
		CR	SH	RE	Σ
1	0,00	0,05%	9,14%	7,59%	16,79%
2	40,00	7,20%	9,14%	7,59%	23,93%
3	101,50	8,50%	9,14%	15,14%	32,79%
4	165,50	4,91%	9,14%	7,59%	21,65%
5	229,50	8,53%	9,14%	15,14%	32,82%
6	291,00	7,27%	9,14%	7,59%	24,00%
7	331,00	0,12%	9,14%	7,59%	16,86%

Tabel 4.69 Rekapitulasi Perhitungan Total Kehilangan Gaya
Pratekan Station 1-7.

No.	Station	Σ total	Σ per 100%	Fo (kN)	F (kN)
1	0,00	67,28%	5,61%	140542,91	132662,64
2	40,00	215,27%	10,76%	234238,18	209025,71
3	101,50	468,86%	14,65%	374781,09	319868,22
4	165,50	414,13%	23,01%	210814,36	162311,27
5	229,50	468,90%	14,65%	374781,09	319864,52
6	291,00	215,34%	10,77%	234238,18	209017,69
7	331,00	67,35%	5,61%	140542,91	132654,63

4.8.4.3. Kontrol Tegangan Pasca Kehilangan

Dalam kontrol tegangan pasca kehilangan digunakan Persamaan 4.39, dalam contoh perhitungan ini menggunakan data pada station +260,25 meter dimana data-data tersebut seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

A	= $2,25 \times 10^7 \text{ mm}^2$
Y _a	= 2131,10 mm
Y _b	= 2368,90 mm
I	= $5,38 \times 10^{13} \text{ mm}^4$
M _{layan}	= $2,86 \times 10^{11} \text{ kN.m}$
e	= 707,821 mm
tendon	= 12 buah
Kehilangan	= 13,47%
ΣF _o	= 140.542.908 N
ΣF	= 121.606.190 N

Dengan demikian tegangan untuk serat atas adalah:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{top}} &= -\frac{121.606.190}{2,25 \times 10^7} + \frac{121.606.190 \times 707,821 \times 2131,10}{5,38 \times 10^{13}} - \frac{2,86 \times 10^{11} \times 2131,10}{5,38 \times 10^{13}} \\ &= -5,399 + 3,144 - 10,437 \text{ Mpa} \\ &= -12,692 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Dan tegangan bawah adalah:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{bot}} &= -\frac{121.606.190}{2,25 \times 10^7} - \frac{121.606.190 \times 707,821 \times 2368,90}{5,38 \times 10^{13}} + \frac{2,86 \times 10^{11} \times 2368,90}{5,38 \times 10^{13}} \\ &= -5,399 - 3,549 + 11,602 \text{ Mpa} \\ &= 2,707 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Dan untuk hasil perhitungan kontrol tegangan akibat kehilangan gaya prategang ditunjukkan pada Tabel 4.70 hingga Tabel 4.72 di bawah ini:

Tabel 4.70 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Tegangan Pasca Kehilangan.

Station	Keterangan	A	Ya	Yb	I
(m)	Per/Lap	(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm ⁴)
0,00	Perletakan	2,25E+07	2131,10	2368,90	7,00E+13
20,00	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	7,00E+13
40,00	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	7,00E+13
70,75	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	7,00E+13
101,50	Perletakan	3,90E+07	2096,00	2404,00	1,05E+14
133,50	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13
165,50	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13
197,50	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13
229,50	Perletakan	3,90E+07	2096,00	2404,00	1,05E+14
260,25	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13
291,00	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13
311,00	Lapangan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13
331,00	Perletakan	2,25E+07	2131,10	2368,90	5,83E+13

Tabel 4.71 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Tegangan Pasca Kehilangan (Lanjutan).

Station	Keterangan	M _{layan}	Eks, e	Jumlah Tendon	ΣFo	Loss, %	ΣF
(m)	Per/Lap	(N.mm)	(mm)	(n)	(N)	%	(N)
0,00	Perletakan	8,97E+09	0,000	12	140542908	5,61%	132662641
20,00	Lapangan	3,77E+11	809,048	18	210814362	8,19%	193558552
40,00	Lapangan	5,58E+11	1821,193	20	234238180	10,76%	209025713
70,75	Lapangan	2,91E+11	707,821	12	140542908	13,47%	121606190
101,50	Perletakan	-1,04E+12	-1586,104	32	374781088	14,65%	319868224
133,50	Lapangan	1,84E+11	198,910	12	140542908	21,39%	110478078
165,50	Lapangan	4,28E+11	1349,601	18	210814362	23,01%	162311271
197,50	Lapangan	1,87E+11	198,910	12	140542908	21,39%	110478078
229,50	Perletakan	-1,05E+12	-1586,104	32	374781088	14,65%	319868224
260,25	Lapangan	2,86E+11	707,821	12	140542908	13,47%	121606190
291,00	Lapangan	5,53E+11	1821,193	20	234238180	10,76%	209025713
311,00	Lapangan	3,74E+11	809,048	18	210814362	8,19%	193558552
331,00	Perletakan	6,89E+09	0,000	12	140542908	5,61%	132662641

Tabel 4.72 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Tegangan Pasca Kehilangan (Lanjutan 2).

Station (m)	Keterangan Per/Lap	$\Sigma F.e.y/I$ (Mpa)		$M_{Layan.y/I}$ (Mpa)		Resultan (Mpa)		Keterangan	
		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
0,00	Perletakan	0,000	0,000	-0,273	0,304	-6,163	-5,587	OK	OK
20,00	Lapangan	4,767	-5,299	-11,491	12,773	-15,318	-1,120	OK	OK
40,00	Lapangan	11,588	-12,881	-16,987	18,882	-14,680	-3,279	OK	OK
70,75	Lapangan	2,620	-2,913	-8,855	9,844	-11,635	1,532	OK	OK
101,50	Perletakan	-10,142	11,633	20,781	-23,834	2,431	-20,409	OK	OK
133,50	Lapangan	0,803	-0,892	-6,721	7,471	-10,823	1,673	OK	OK
165,50	Lapangan	8,002	-8,895	-15,629	17,373	-14,834	1,272	OK	OK
197,50	Lapangan	0,803	-0,892	-6,829	7,591	-10,932	1,794	OK	OK
229,50	Perletakan	-10,142	11,633	21,006	-24,093	2,657	-20,668	OK	OK
260,25	Lapangan	3,144	-3,495	-10,437	11,602	-12,692	2,707	OK	OK
291,00	Lapangan	13,905	-15,457	-20,212	22,467	-15,587	-2,270	OK	OK
311,00	Lapangan	5,720	-6,359	-13,668	15,193	-16,542	0,241	OK	OK
331,00	Perletakan	0,000	0,000	-0,252	0,280	-6,142	-5,610	OK	OK

4.9. Analisa Momen Nominal (M_n) dan Momen Retak (M_{cr}) pada Masing-masing Joint

4.9.1. Analisa momen nominal (M_n)

Kontrol momen nominal dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

- Kesetimbangan aksial

$$T_p = C \quad (4.51)$$

- Kesetimbangan statik momen

$$M_n = T_p \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (4.52)$$

$$\begin{aligned} M_u &= \phi M_n = \phi T_p \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \\ &= \phi \times A_p \times f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \end{aligned} \quad (4.53)$$

- Indeks penulangan

$$\omega_p = \frac{(\rho_p \times f_{ps})}{f'_c} \leq 0,3 \quad (4.54)$$

Dimana:

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \times d_p} \quad (4.55)$$

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \cdot \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c}\right]\right) \quad (4.56)$$

Keterangan:

- f_{ps} = tegangan tulangan prategang disaat penampang mencapai kuat nominalnya
- f_{pu} = kuat tarik tendon prategang yang diisyaratkan
- ω_p = indeks penulangan prategang
- ρ_p = rasio tulangan prategang
- A_{ps} = luas tulangan prategang dalam daerah tarik
- b = lebar muka tekan komponen struktur, diambil sebesar lebar badan
- d_p = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan prategang
- d = jarak dari serat terluar ke titik berat tulangan tarik non prategang

Sebagai contoh perhitungan akan digunakan data-data pada station +40,00 meter dengan perhitungan sebagai berikut:

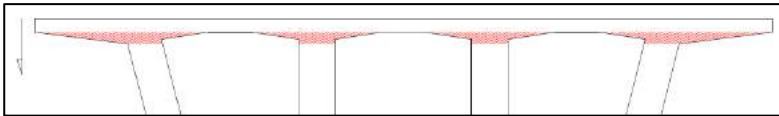
$$\begin{aligned}
 e &= 1821,40 \text{ mm} \\
 dp &= H - e \\
 &= 4500 - 1821,40 \\
 &= 3952,50 \text{ mm} \\
 A_{ps} &= 143,30 \times 18 \\
 &= 171960 \text{ mm}^2 \\
 \rho_p &= A_{ps}/A_c \\
 &= 171960/(2,25 \times 10^7 - 171960) \\
 &= 0,0027 \\
 f_{ps} &= 1860 \cdot \left(1 - \frac{0,40}{0,71} \cdot \left[0,0027 \frac{1860}{50}\right]\right) \\
 &= 1753,575 \text{ Mpa} \\
 T &= A_{sp} \times f_{ps}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 171960 \times 1753,575 \\
 &= 3,02 \times 10^8 \text{ N} \\
 a &= \frac{T}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \\
 &= \frac{3,02 \times 10^8}{0,85 \times 50 \times 16000} \\
 &= 443,45 \text{ mm} > 300,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga penampang bersifat bukan sebagai balok persegi, maka untuk perhitungan berikutnya adalah:

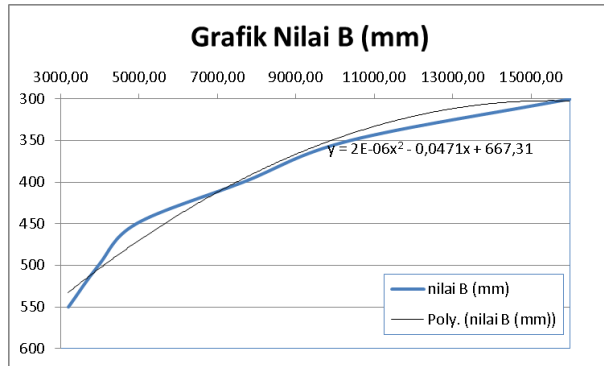
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai kelebihan} &= 443,45 - 300 \\
 &= 143,45 \text{ mm} \\
 \text{Luas kebutuhan} &= 143,45 \times 16000 \\
 &= 2.295.200 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena bentuk penampang yang tidak simetris maka perlu dibuatkan pendekatan untuk nilai b pada bagian yang tidak simetris di mana bagian tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.63 di bawah ini:



Gambar 4.65 Bentuk Penampang Jembatan Pada Pelat Atas.

Dari plotting pada Gambar 4.63 ke dalam grafik maka di dapat persamaan nilai b untuk dari 300 mm hingga 550 mm dari serat atas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.64 berikut:



Gambar 4.66 Grafik Nilai Lebar Jembatan.

Sedangkan untuk nilai lebih dari 550,00 mm nilai B bersifat konstan dengan nilai 3116,00 mm.

Sehingga nilai a' adalah:

$$\int_{300}^{550} 10541 \cdot X^{-0,368} dX + \int_{550}^{550+a'} 3116 dX = 2.295.200 \text{ mm}^2$$

Dengan cara coba-coba melalui program bantu excel didapatkan nilai a' adalah 527,325 mm

Sehingga:

$$\begin{aligned} a &= 550 + a' \\ &= 550 + 527,325 \\ &= 1077,325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset M_n &= T_p \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,9 \times 3,02 \times 10^8 \left(3952,50 - \frac{1077,325}{2} \right) \times 1/10^6 \\ &= 1.012.496,24 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan pada station lain yang diamati dapat dilihat pada Tabel 4.73 dan Tabel 4.74 dibawah ini:

Tabel 4.73 Rekapitulasi Perhitungan Momen Nominal (Mn).

No.	Station	e	dp	Aps	ρ_p
	(m)	(mm)	(mm)	(mm ²)	
1	0,00	-1,1	2370,00	103176	0,0027
2	40,00	1821,4	3952,50	171960	0,0027
3	101,50	-1585,1	3989,10	275136	0,0043
4	165,50	1348,9	3480,00	154764	0,0028
5	229,50	-1585,1	3989,10	275136	0,0043
6	291,00	1821,4	3952,50	171960	0,0027
7	331,00	-1,1	2370,00	103176	0,0027

Tabel 4.74 Rekapitulasi Perhitungan Momen Nominal (Mn)
(Lanjutan).

No.	Station	ρ_p	f _{ps}	T	a	ϕM_n
	(m)		(Mpa)	(N)	(mm)	kN.m
1	0,00	0,0027	1753,507	1,81E+08	646,37	364241,24
2	40,00	0,0027	1753,575	3,02E+08	1077,32	1012496,24
3	101,50	0,0043	1691,282	4,65E+08	1662,48	1527337,56
4	165,50	0,0028	1751,212	2,71E+08	968,28	800239,66
5	229,50	0,0043	1691,282	4,65E+08	1662,48	1527337,56
6	291,00	0,0027	1753,575	3,02E+08	1077,32	1012496,24
7	331,00	0,0027	1753,507	1,81E+08	646,37	364241,24

4.9.2. Analisa momen retak (M_{cr})

Dengan menggunakan analisa elastik beton prategang, persamaan tegangan untuk daerah tarik serat bawah adalah:

$$f_r = \frac{f_{eff}}{A} - \frac{f_{eff} \times e \times y_b}{I} + \frac{M \times y_b}{I} \quad (4.57)$$

Dengan mentransposkan suku-suku pada persamaan di atas, maka diperoleh momen retak:

$$M_{cr} = (f_{eff} \times e) + \left(\frac{f_{eff} \times I}{A \times y_b} \right) + \left(\frac{f_r \times I}{y_b} \right) \quad (4.58)$$

$$\begin{aligned}
&= \left[f_{\text{eff}} \left(e + \frac{I}{A \times y_b} \right) \right] + \left[\frac{f_r \times I}{y_b} \right] \\
&= [f_{\text{eff}}(e + K_t)] + [f_r \times W_b] \\
&= M_1 + M_2
\end{aligned}$$

Dimana $\frac{(f_r \times I)}{y_b}$ memberikan momen perlawanan akibat modulus keruntuhan beton, $f_{\text{eff}} \times e$ momen perlawanan akibat eksentrisitas gaya prategang, dan $\frac{f_{\text{eff}} \times I}{A \times y_b}$ akibat tekanan langsung gaya prategang. Sedangkan pepersamaan momen retak untuk daerah tarik serat atas adalah sebagaik berikut:

$$\begin{aligned}
f_r &= -\frac{f_{\text{eff}}}{A} - \frac{f_{\text{eff}} \times e \times y_t}{I} + \frac{M \times y_t}{I} \\
M_{\text{cr}} &= (f_{\text{eff}} \times e) + \left(\frac{f_{\text{eff}} \times I}{A \times y_t} \right) + \left(\frac{f_r \times I}{y_t} \right) \\
&= \left[f_{\text{eff}} \left(e + \frac{I}{A \times y_t} \right) \right] + \left[\frac{f_r \times I}{y_t} \right] \\
&= [f_{\text{eff}}(e + K_b)] + [f_r \times W_t] \\
&= M_1 + M_2
\end{aligned}$$

Keterangan:

- M_1 = momen akibat eksentrisitas gaya prategang
- M_2 = momen tahanan dari beton sendiri
- F_{eff} = gaya prategang setelah kehilangan.
- e = eksentrisitas
- W_b = tahanan serat bawah
- W_t = tahanan serat atas
- f_r = modulus retak = $0,7\sqrt{(f'_c)}$

Sebagai contoh perhitngan digunakan data-data pada station +165,50 mm dengan data sebagai berikut:

- e = 1348,90 mm
- K_a = 1093,47 mm
- F_{eff} = 162.311,27 kN
- W_b = $2,74 \times 10^{10} \text{ mm}^3$

Dan berikut adalah perhitungannya:

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= [162.311,27 (1348,90 + 1093,47) \times 10^{-3}] + \\
 &\quad [0,7\sqrt{50x}, 74 \times 10^{10}] \times 10^{-6} \\
 &= 396423,62 + 120018,30 \\
 1,2M_{cr} &= 619.730,31 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah hasil analisa momen retak yang ditinjau pada masing-masing station yang ditunjukkan pada Tabel 4.75 dan Tabel 4.76 di bawah ini:

Tabel 4.75 Rekapitulasi Perhitungan Momen Retak (M_{cr}).

No.	Station (m)	ΣF (kN)	e (mm)	Ka (mm)	Kb (mm)
1	0,00	132662,64	-1,10		1215,48
2	40,00	209025,71	1821,40	1093,47	
3	101,50	319868,22	-1585,10		1069,58
4	165,50	162311,27	1348,90	1093,47	
5	229,50	319864,52	-1585,10		1069,58
6	291,00	209017,69	1821,40	1093,47	
7	331,00	132654,63	-1,10		1215,48

Tabel 4.76 Rekapitulasi Perhitungan Momen Retak (M_{cr})
(Lanjutan).

No.	Station (m)	M1 (kN.m)	f _r (Mpa)	W (mm ³)	M2 (kN.m)	1,2M _{cr} (kN.m)
1	0,00	161394,93	4,3841	2,74E+10	120018,3014	337695,88
2	40,00	609282,06	4,3841	2,74E+10	120018,3014	875160,44
3	101,50	849147,34	4,3841	4,17E+10	182752,0107	1238279,22
4	165,50	396423,62	4,3841	2,74E+10	120018,3014	619730,31
5	229,50	849137,50	4,3841	4,17E+10	182752,0107	1238267,41
6	291,00	609258,67	4,3841	2,74E+10	120018,3014	875132,37
7	331,00	161385,18	4,3841	2,74E+10	120018,3014	337684,18

4.9.3. Kontrol Momen nominal (M_n), Momen ultimit (M_u), dan Momen Retak (M_{cr})

Setelah mendapatkan nilai dari momen nominal (M_n) dan momen retak (M_{cr}) pada masing-masing station yang ditinjau kemudian dibandingkan dengan nilai momen ultimit. Momen ultimit yang dibandingkan merupakan envelope dari kombinasi gaya ekstrim I dan II. Nilai momen ultimit harus berada di bawah nilai momen retak agar memenuhi syarat.

Berikut ditampilkan hasil rekapitulasi momen ultimit pada station yang ditinjau dan hasil perbandingannya terhadap nilai momen nominal dan momen retak serta perbandingan momen nominal terhadap momen retak yang ditunjukkan pada Tabel 4.77 dan Tabel 4.78 di bawah ini.

Tabel 4.77 Rekapitulasi Perhitungan Momen Ultimit (M_u).

No.	Station	ϕM_n	M_u	$1,2M_{cr}$
	(m)	kN.m	kN.m	(kN.m)
1	0,00	364241,24	1914,66	337695,88
2	40,00	1012496,24	503204,00	875160,44
3	101,50	1527337,56	857688,00	1238279,22
4	165,50	800239,66	381984,00	619730,31
5	229,50	1527337,56	855498,00	1238267,41
6	291,00	1012496,24	503452,00	875132,37
7	331,00	364241,24	1402,00	337684,18

Tabel 4.78 Rekapitulasi Perbandingan Momen Ultimit dengan Nilai Momen Nominal dan Momen Retak.

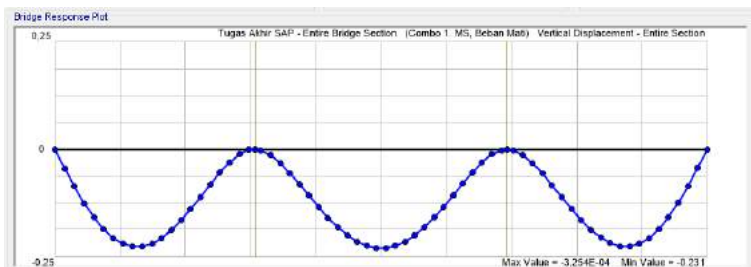
No.	Station	$\phi M_n > M_u$	$1,2M_{cr} > M_u$	$\phi M_n > 1,2M_{cr}$
	(m)	(mm)	(kN.m)	(Mpa)
1	0,00	[OK]	[OK]	[OK]
2	40,00	[OK]	[OK]	[OK]
3	101,50	[OK]	[OK]	[OK]
4	165,50	[OK]	[OK]	[OK]
5	229,50	[OK]	[OK]	[OK]
6	291,00	[OK]	[OK]	[OK]
7	331,00	[OK]	[OK]	[OK]

4.10. Kontrol Lendutan pada Bentang Flyover

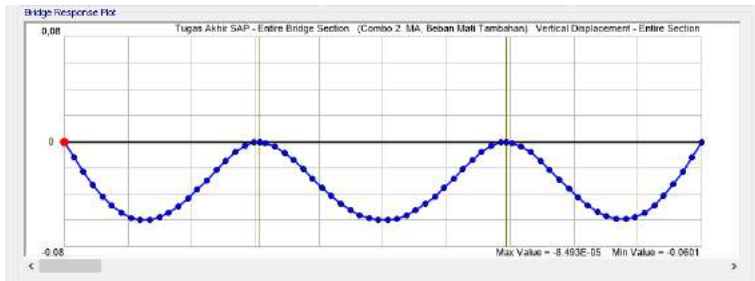
Pada kontrol lendutan, faktor beban yang berpengaruh adalah beban akibat beban struktur permanen dan struktur tambahan, pengaruh pada kabel prategang, dan pengaruh akibat kombinasi beban layan.

4.10.1. Lendutan akibat beban permanen

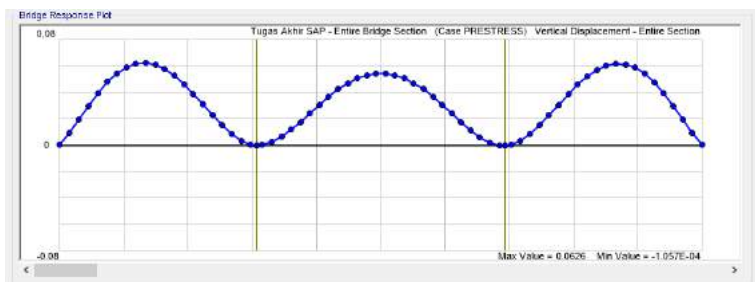
Lendutan akibat beban permanen adalah lendutan akibat beban mati struktural, beban mati tambahan, dan gaya prategang pada kabel prategang yang ditunjukan oleh Gambar 4.65 hingga Gambar 4.67 di bawah ini:



Gambar 4.67 Lendutan Akibat Beban Mati Struktural.



Gambar 4.68 Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan.



Gambar 4.69 Lendutan Akibat Gaya Prategang.

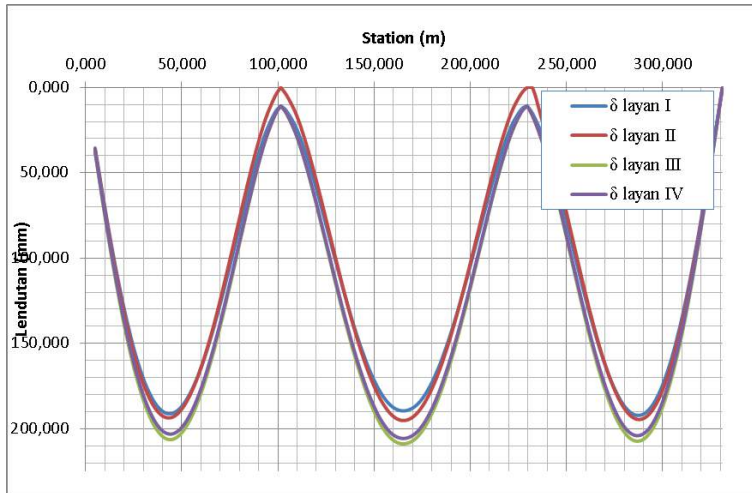
Pada Tabel 4.79 di bawah ini ditampilkan nilai dari masing-masing tengah bentang pada bentang samping dan bentang utama pada flyover di mana nilai positif berarti lendutan ke arah bawah dan nilai negatif lendutan ke arah atas:

Tabel 4.79 Rekapitulasi Perhitungan Defleksi.

No.	Beban / Kombinasi	Defleksi (mm)		
		St + 50,75	St +165,50	St +280,25
1	Ms, Beban mati	123,5421	127,1788	124,6717
2	Ma, Beban mati tambahan	19,5588	19,9125	19,6251
3	Prestress	-102,721	-79,305	-103,083

4.10.2. Lendutan akibat kombinasi daya layan

Berikut ditampilkan gambar lendutan akibat kombinasi daya layan yang ditunjukkan pada Gambar 4.68 di bawah ini:



Gambar 4.70 Lendutan Akibat Daya Layan.

Pada Tabel 4.80 di bawah ini ditampilkan nilai dari masing-masing tengah bentang pada bentang samping dan bentang utama pada flyover di mana nilai positif berarti lendutan ke arah:

Tabel 4.80 Rekapitulasi Perhitungan Defleksi Akibat Daya Layan.

No.	Beban / Kombinasi	Defleksi (mm)		
		St + 50,75	St +165,50	St +280,25
4	Layan I	185,3366	189,1042	186,4749
5	Layan II	186,8577	194,6795	187,9706
6	Layan III	200,8012	208,4313	201,8528
7	Layan IV	197,6921	205,2651	198,7334

4.10.3. Rekapitulasi kontrol lendutan pada flyover

Kontrol lendutan pada flyover ditentukan berdasarkan akibat beban hidup yang bekerja tanpa memperhitungkan beban permanen yang ada.

Tabel 4.81 Rekapitulasi Perhitungan Lendutan Akibat Beban Hidup.

No.	Beban / Kombinasi	Defleksi (mm)		
		St + 50,75	St +165,50	St +280,25
1	Layan I - (Ms + Ma)	42,236	42,013	42,178
2	Layan II - (Ms + Ma)	43,757	47,588	43,674
3	Layan III - (Ms + Ma)	57,700	61,340	57,556
4	Layan VI - (Ms + Ma)	54,591	58,174	54,437

Tabel 4.82 Rekapitulasi Kontrol Lendutan.

No.	Beban / Kombinasi	Syarat (L/800) (mm)		
		St + 50,75	St +165,50	St +280,25
1	Layan I - (Ms + Ma)	126,875	160,000	126,875
2	Layan II - (Ms + Ma)	126,875	160,000	126,875
3	Layan III - (Ms + Ma)	126,875	160,000	126,875
4	Layan VI - (Ms + Ma)	126,875	160,000	126,875

Tabel 4.83 Rekapitulasi Kontrol Lendutan (Lanjutan).

No.	Beban / Kombinasi	Keterangan		
		St + 50,75	St +165,50	St +280,25
1	Layan I - (Ms + Ma)	[OK]	[OK]	[OK]
2	Layan II - (Ms + Ma)	[OK]	[OK]	[OK]
3	Layan III - (Ms + Ma)	[OK]	[OK]	[OK]
4	Layan VI - (Ms + Ma)	[OK]	[OK]	[OK]

4.11. Kontrol Aerodinamis Flyover akibat Beban Angin Dinamis

Pada kontrol aerodinamis akibat beban angin, flyover dikontrol terhadap vortex shedding dimana analisa yang

dilakukan adalah menentukan kelayakan flyover dengan plotting amplitudo akibat beban angin serta frekuensi fundamental dan plotting percepatan dengan frekuensi fundamental.

Dan berikutnya dilakukan analisa terhadap efek flutter yang terjadi dengan mengontrol nilai kecepatan kritis yang menyebabkan efek flutter terhadap kecepatan rencana pada lapangan.

4.11.1. Penentuan Frekuensi Fundamental Lentur dan Torsi

Penentuan frekuensi fundamental lentur dan torsi menggunakan bantuan program bantu CSi Bridge dengan memperhatikan mode yang terjadi dan bentuk perubahannya. Berikut ditampilkan nilai frekuensi dan bentuk deformasi yang terjadi pada setiap mode yang ditunjukkan pada Tabel 4.84 di bawah ini:

Tabel 4.84 Nilai Frekuensi Fundamental Lentur dan Torsi
Menggunakan Program Bantu CSi Bridge.

Mode	Deformasi	Period	Freq	CircFreq	Eigen
	Text	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
1	Vertikal	1,095	0,913	5,738	32,929
2	Vertikal bentang samping	0,906	1,104	6,938	48,131
3	Vertikal	0,746	1,340	8,419	70,872
4	Torsi bentang tengah	0,509	1,964	12,340	152,266
5	Vertikal	0,427	2,341	14,712	216,430
6	Torsi bentang samping	0,328	3,047	19,144	366,493
7	Horizontal bentang samping	0,323	3,096	19,452	378,365
8	Vertikal	0,308	3,249	20,412	416,662
9	Vertikal	0,288	3,470	21,803	475,390
10	Vertikal	0,209	4,796	30,133	907,987
11	Horizontal bentang tengah	0,204	4,898	30,776	947,134
12	Deformasi sejajar sumbu jembatan	0,198	5,048	31,719	1006,120

Dengan memperhatikan bentuk deformasi dari setiap mode di atas, maka dapat ditentukan bahwa untuk frekuensi fundamental lentur (f_b) adalah 0,913 Hz dengan bentuk deformasi

yang ditampilkan pada gambar dan untuk frekuensi torsi (f_T) adalah 1,964 Hz.

Sehingga perbandingan antara frekuensi torsi dan frekuensi fundamental lentur (f_T/f_b) adalah 2,151 Hz dimana nilai tersebut mendekati nilai 2,5.

4.11.2. Analisa Vortex Shedding

4.11.2.1. Penentuan Nilai Strouhal (S) dan Kecepatan Angin Kritis (V)

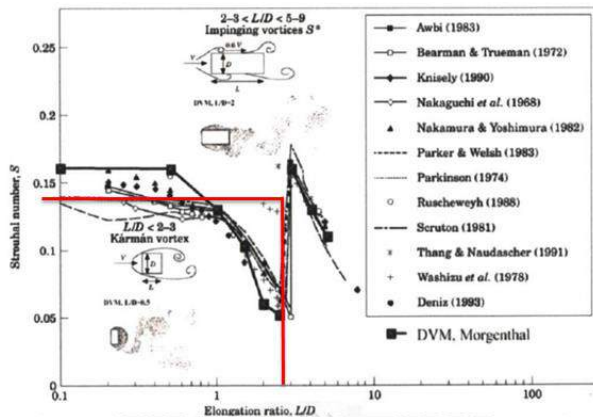
Dalam penentuan nilai Strouhal (S) diperlukan perbandingan antara lebar dek (B) dengan tinggi dek (H) seperti yang ditunjukkan Gambar 4.69 dibawah ini:

$$L = B = 16,00 \text{ meter}$$

$$D = H = 4,50 \text{ meter}$$

$$L/D = 3,56$$

Kemudian nilai tersebut diploting terhadap grafik S – L/D di bawah ini:



Gambar 4.71 Grafik S-L/D.

Dengan $S = 0,14$ maka nilai V adalah sebagai berikut:

$$S = \frac{f_b \cdot H}{V}$$

$$V = \frac{fb.H}{S}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{0,913 \times 4,50}{0,14} \\ &= 29,356 \text{ meter/detik} \end{aligned}$$

Pengecekan terhadap nilai Reynold (Re) dengan batas $10^5 < Re < 10^7$

$$\begin{aligned} Re &= \frac{V \times B}{\nu} \\ &= \frac{29,356 \times 16}{0,15 \times 10^{-4}} \\ &= 3,13 \times 10^7 > 10^7 \text{ (digunakan nilai penyesuaian } 10^7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{pakai}} &= \frac{Re \cdot \nu}{B} \\ &= 10^7 \times 0,5 \times 10^{-4} / 16 \\ &= 9,375 \text{ meter/detik} \end{aligned}$$

4.11.2.2. Gaya periodik respon dinamik (F(t)) akibat kecepatan angin kritis (V)

$$F(t) = F_0 \sin \omega t$$

Dengan:

$$F_0 = \frac{\rho V^2}{2 \cdot C \cdot H}$$

Dimana:

$$F_0 = (\rho V^2 / 2) C_h$$

$$\rho = \text{massa udara } (\approx 1,3 \text{ kg/m}^3)$$

$$C = \text{koefisien karakteristik gaya angkat, tergantung } V \text{ dan } f$$

$$\omega = \text{frekuensi pusaran (Re, S)}$$

Sehingga:

$$\rho = 1,3 \text{ kg/m}^3 = 12,74 \text{ N/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 V &= 9,375 \text{ m/detik} \\
 C &= 0,6 \\
 H &= 4,5 \text{ meter} \\
 \omega &= 5,74 \text{ rad/detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_o &= \frac{12,74 \times 9,375^2}{2 \times 0,6 \times 4,5} \\
 &= 1,512 \\
 F(t) &= 1,512 \sin 5,74 t \text{ (kN/m)}
 \end{aligned}$$

4.11.2.3. Amplitudo akibat Osilasi (\tilde{v}) dan Percepatan getaran (\ddot{v})

Amplitudo

$$\tilde{v} = \frac{\pi F_o}{\delta m} V_{\text{maks}}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 \delta &= 0,05 \\
 V_{\text{maks}} &= 67,786 \text{ mm} \\
 F_o &= 1,512 \text{ kN/m} \\
 m &= 339,374 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tilde{v} &= \frac{\pi}{0,05} \frac{1,512}{339,374} 67,786 \\
 &= 8,302 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

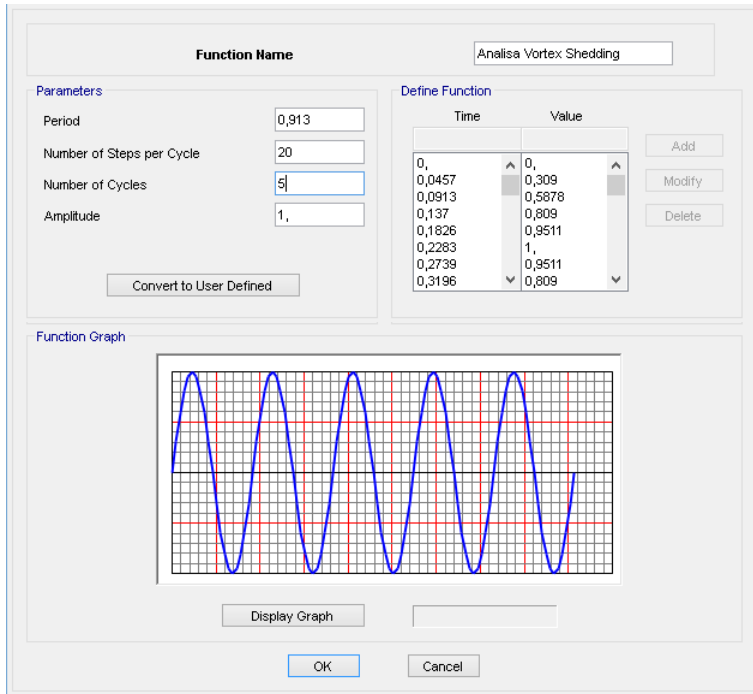
Percepatan getaran

$$\begin{aligned}
 \ddot{v} &= 4\pi^2 x f b^2 x \tilde{v} \\
 &= 4\pi^2 x 0,913^2 x 8,302 \\
 &= 0,273 \text{ m/s}^2
 \end{aligned} \tag{4.59}$$

4.11.2.4. Hasil analisa dengan program bantu CSi Bridge

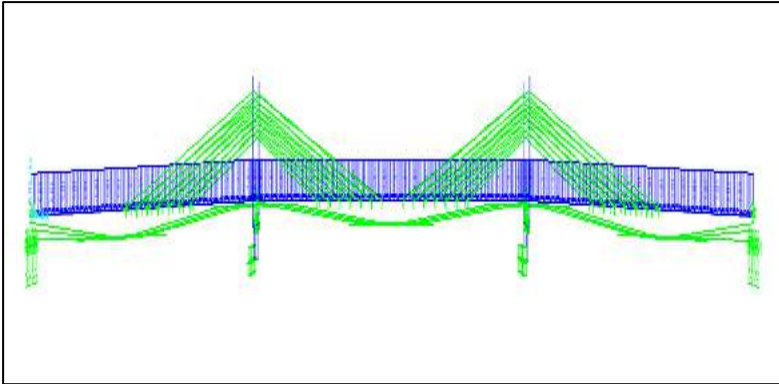
Dalam menentukan amplitudo dan percepatannya yang terjadi akibat pengaruh pusaran angin pada permukaan jembatan

juga menggunakan program bantu CSi Bridge dengan fungsi time hystori seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.70 di bawah ini:



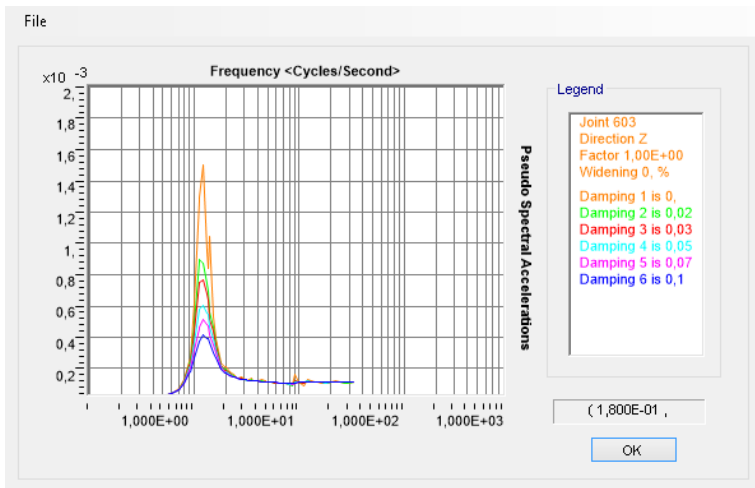
Gambar 4.72 Fungsi Time Histori Menggunakan Program Bantu CSi Bridge.

Dari nilai FO yang didapat kemudian diinputkan sebagai beban yang bekerja sepanjang bentang jembatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.71 di bawah ini:

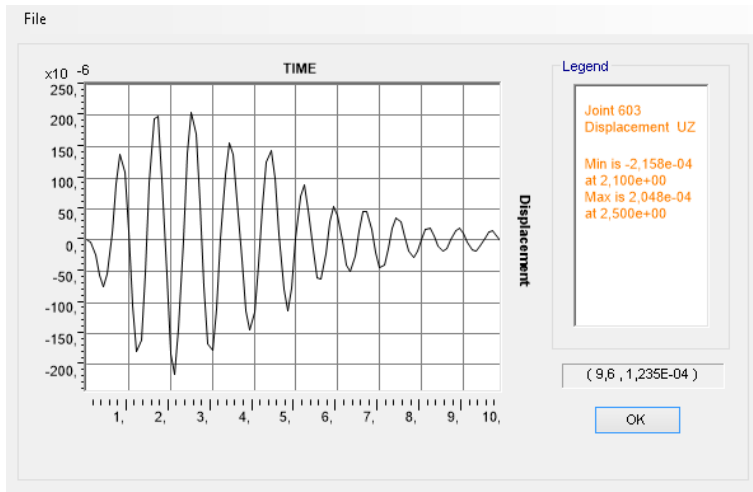


Gambar 4.73 Beban yang Bekerja Sepanjang Bentang Jembatan.

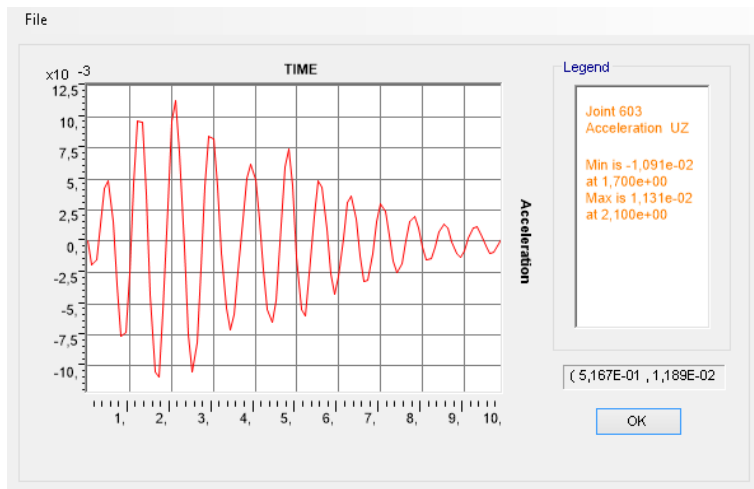
Setelah me-running program didapatkan data-data untuk Pseudo Spectral Accelerations, amplitudo, dan percepatannya pada titik di tengah bentang adalah sebagai berikut:



Gambar 4.74 Data Pseudo Spectral Accelerations pada Tengah Bentang.



Gambar 4.75 Data Amplitudo pada Tengah Bentang.



Gambar 4.76 Data Percepatan pada Tengah Bentang.

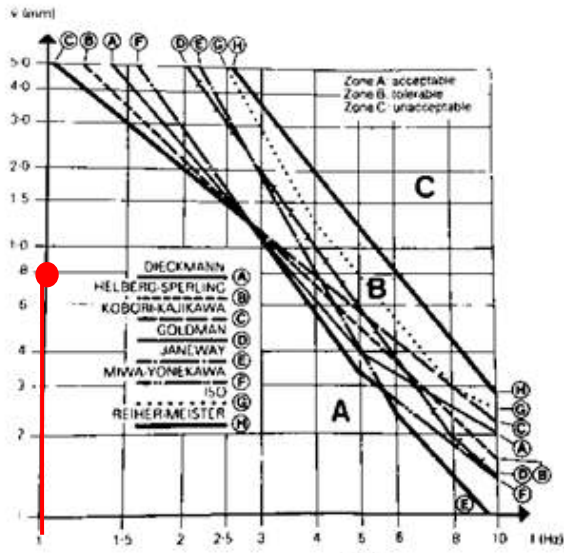
Sehingga dari data-data tersebut didapatkan nilai amplitudo dan percepatannya adalah sebagai berikut seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.85 di bawah ini:

Tabel 4.85 Rekapitulasi Perhitungan Amplitudo dan Percepatan.

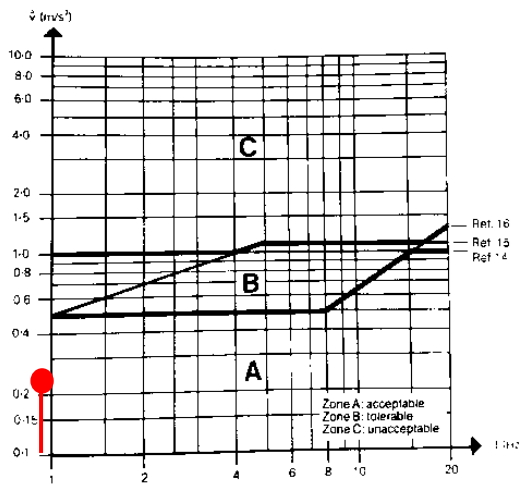
	Amplitudo (mm)	Percepatan (mm/detik²)	Keterangan
Fungsi R dan S	8,302	0,273	Menentukan
Program Bantu CSi Bridge	0,0216	0,0113	

4.11.2.5. Kontrol terhadap grafik kelayakan flyover akibat amplitudo dan percepatan

Dalam menentukan kelayakan flyover terhadap kemampuannya dalam menahan menerima gaya akibat fortex shedding maka harus dicek dengan diploting terhadap Gambar 4.75 dan Gambar 4.76 di bawah ini:



Gambar 4.77 Grafik Kelayakan Jembatan, Amplitudo – Frekuensi (Walther, 1988).



Gambar 4.78 Grafik Kelayakan Jembatan, Percepatan – Frekuensi (Walther, 1988).

Pada plotting terhadap gambar dan gambar didapatkan bahwa pembangunan flyover masuk terhadap kategori “Acceptable”.

4.11.3. Analisa Efek Flutter pada Flyover

Dalam analisa efek flutter digunakan beberapa grafik dengan perhitungan sebagai berikut:

4.11.3.1. Kecepatan kritis teoritis

$$\mu = \frac{m}{\pi \cdot \rho \cdot b^2} \quad (4.60)$$

Dengan:

m = berat sendiri lantai kendaraan per meter lari
= 339,374 kN/m = 34594,77 kg/m

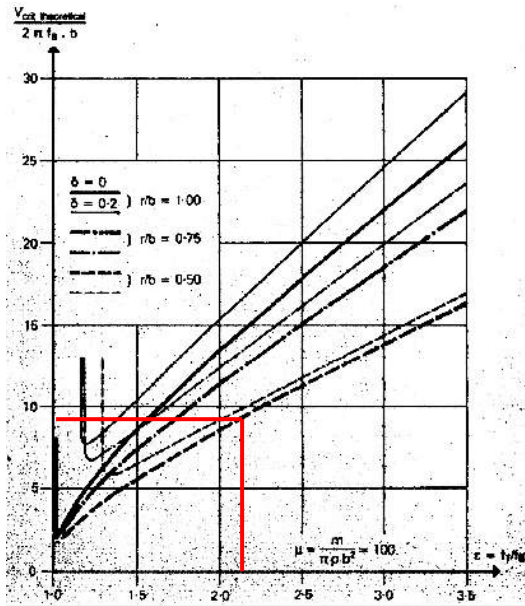
ρ = berat volume udara
= 1,3 kg/m³

b = setengah lebar lantai kendaraan
= 8,00 meter

$\mu = \frac{34594,77}{\pi \times 1,3 \times 8,00^2}$
= 132,354

Dari perhitungan di atas maka ditentukan menggunakan grafik dengan $\mu = 100$ dan dari perhitungan sebelumnya diketahui nilai $fb/ft = 2,15$, $r = 4,11$ m, dan $b = 8,00$ meter, sehingga $r/b = 0,51$.

Sehingga untuk plotting pada grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.77 adalah sebagai berikut:

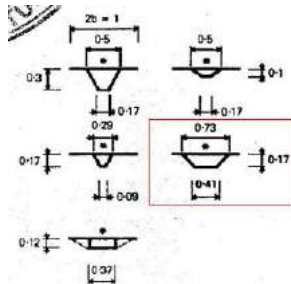


Gambar 4.79 Grafik Faktor Pengali V-kritis Teoritis (Walther, 1988).

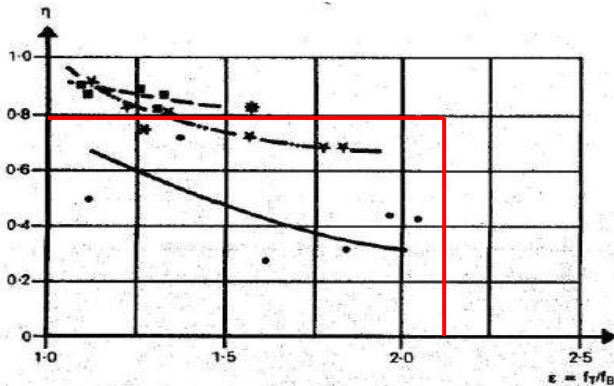
Dari grafik tersebut diketahui nilai dari $\frac{V_{\text{kritis-teoritis}}}{2 \cdot \pi \cdot f_b \cdot b}$ adalah 9, sehingga nilai $V_{\text{kritis-teoritis}}$ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{krit-teo}} &= 9 \times 2 \times \pi \times f_b \times b & (4.61) \\
 &= 9 \times 2 \times \pi \times 0,913 \times 8 \\
 &= 413,167 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

Akibat asumsi sudut datang angin yang tak selalu tegak lurus maka nilai dari $V_{\text{kritis-teoritis}}$ perlu dikoreksi terhadap grafik yang ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 4.80 Penyesuaian Bentuk Penampang (Walther, 1988).



Gambar 4.81 Faktor Reduksi untuk V-kritis Aktual (Walther, 1988).

Berdasarkan hasil analisa dengan grafik di atas didapatkan faktor reduksi $V_{kritis-teoritis} (\eta)$ adalah 0,80. Untuk angin yang diasumsikan datang dengan sudut 60 nilai faktor reduksi adalah setengah dari nilai η . Sehingga untuk V_{kritis} aktual adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{kri-akt} &= 0,5 \times \eta \times V_{kri-teo} & (4.62) \\
 &= 0,5 \times 0,8 \times 413,167 \\
 &= 165,299 \text{ meter/detik} \\
 &= 594,961 \text{ km/jam}
 \end{aligned}$$

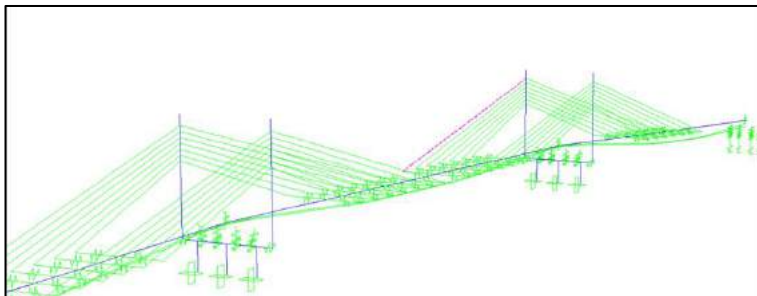
Nilai $V_{kritis-aktual}$ lebih kecil dari $V_{rencana}$ (66,89 km/jam) sehingga jembatan akan aman terhadap kemungkinan terjadinya efek flutter.

4.12. Analisa Kondisi Tertentu

4.12.1. Analisa kondisi kabel penggantung putus pada bentang tengah

Dalam kondisi tertentu diasumsikan bahwa salah satu kabel diputuskan baik secara sengaja untuk perawatan ataupun tidak disengaja akibat faktor tertentu.

Pada simulasi kabel yang diputuskan adalah kabel pada tengah bentang seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.80 di bawah ini:



Gambar 4.82 Pemilihan Kabel Diputus pada Jembatan.

4.12.2. Pengaruh kabel penggantung putus terhadap bentang flyover

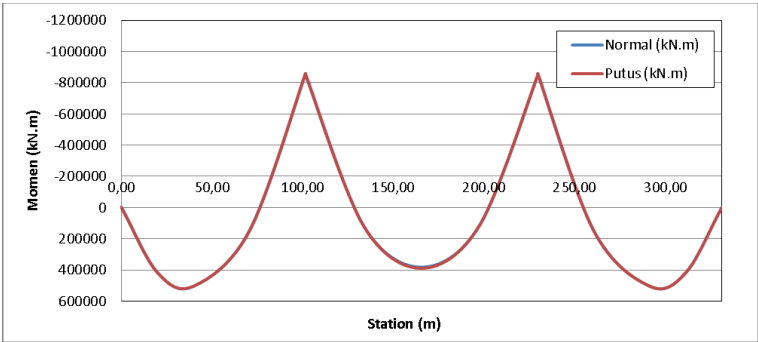
Akibat dari kabel yang putus tersebut kemudian dianalisa perbandingan kondisi sebelum dan pasca kabel putus sehingga didapat kondisi yang akan digunakan dalam penulangan nantinya.

Pada sub-bab berikut ditampilkan gaya-gaya dalam yang menunjukkan perbandingan antara kondisi normal dan setelah putus.

4.12.2.1. Gaya momen sebelum dan setelah kabel penggantung putus

Tabel 4.86 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Momen Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.

Station m	Kondisi		Perbedaan (%)
	Normal (kN.m)	Putus (kN.m)	
0,00	-1914,6557	-1966,0786	2,69%
20,00	418322	418046	-0,07%
40,00	503204	502700	-0,10%
70,75	145168,5	146785,5	1,11%
101,50	-857688,2	-859461,1	0,21%
101,50	-851291	-855206	0,46%
133,50	117002,5	117654,2	0,56%
165,50	381984	389059	1,85%
197,50	111817,2	112310	0,44%
229,50	-846901,4	-849281,3	0,28%
229,50	-855948	-858515	0,30%
260,25	147570,2	146299,8	-0,86%
291,00	503452	503027	-0,08%
311,00	418839	418606	-0,06%
331,00	-1402,223	-1948,025	38,92%

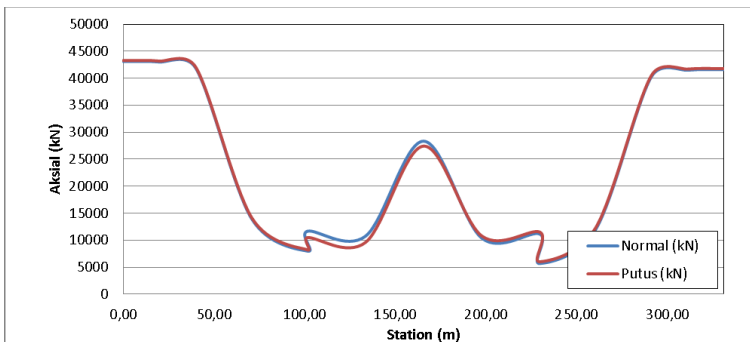


Gambar 4.83 Perbandingan pada Bidang Momen.

4.12.2.2. Gaya aksial sebelum dan setelah kabel penggantung putus

Tabel 4.87 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Aksial Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.

Station m	Kondisi		Perbedaan
	Normal (kN)	Putus (kN)	(%)
0,00	43122,34	43301,82	0,42%
20,00	43014,71	43194,24	0,42%
40,00	41832,05	42012,46	0,43%
70,75	13953,777	14169,617	1,55%
101,50	7981,1332	8201,6261	2,76%
101,50	11667,298	10483,455	-10,15%
133,50	10756,191	9610,0564	-10,66%
165,50	28343,528	27437,104	-3,20%
197,50	10390,132	10794,377	3,89%
229,50	11156,05	11506,652	3,14%
229,50	5680,1461	6007,7748	5,77%
260,25	11959,52	12273,986	2,63%
291,00	40291,03	40502,92	0,53%
311,00	41492,69	41703,19	0,51%
331,00	41600,17	41800,58	0,48%

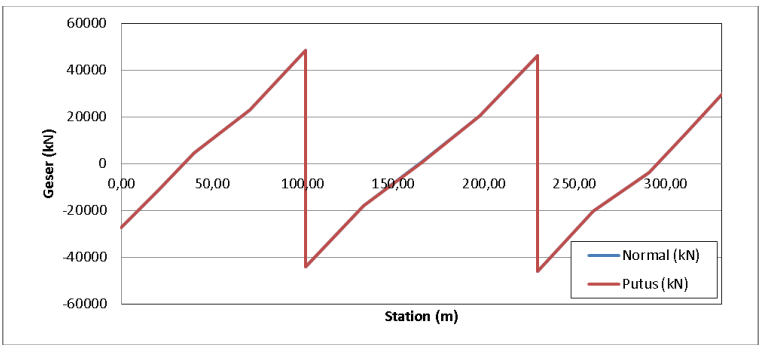


Gambar 4. 84 Perbandingan pada Bidang Aksial.

4.12.2.3. Gaya geser vertikal sebelum dan setelah kabel penggantung putus

Tabel 4.88 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Geser Vertikal Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.

Station m	Kondisi		Perbedaan (%)
	Normal (kN)	Putus (kN)	
0,00	-27299,06	-27286,01	-0,05%
20,00	-11415,62	-11402,85	-0,11%
40,00	4624,4893	4637,575	0,28%
70,75	22829,748	22853,287	0,10%
101,50	48299,31	48324,47	0,05%
101,50	-44084,9	-44223,3	0,31%
133,50	-17852,79	-18007,37	0,87%
165,50	616,9485	367,2915	-40,47%
197,50	20305,23	20425,82	0,59%
229,50	46119,46	46217,77	0,21%
229,50	-45916,6	-45958,1	0,09%
260,25	-20213,64	-20126,51	-0,43%
291,00	-3789,64	-3799,12	0,25%
311,00	12989,982	12981,106	-0,07%
331,00	29752,358	29743,479	-0,03%

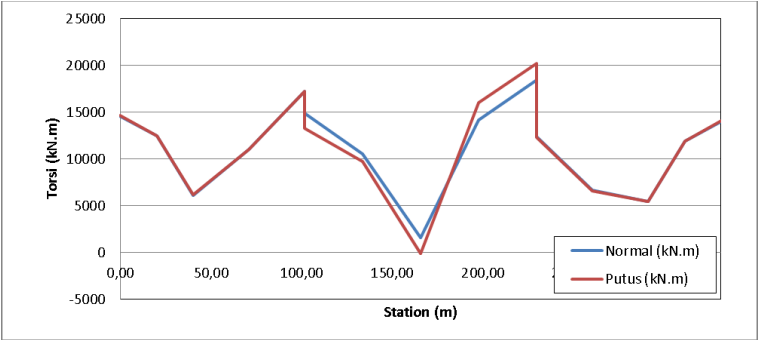


Gambar 4.85 Perbandingan pada Bidang Geser

4.12.2.4. Gaya Torsi sebelum dan setelah kabel penggantung putus

Tabel 4.89 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Torsi Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.

Station m	Kondisi		Perbedaan
	Normal (kN.m)	Putus (kN.m)	(%)
0,00	14570,421	14594,833	0,17%
20,00	12424,521	12448,889	0,20%
40,00	6091,956	6116,0513	0,40%
70,75	10958,609	10968,049	0,09%
101,50	17214,684	17222,068	0,04%
101,50	14818,323	13234,319	-10,69%
133,50	10539,554	9678,5737	-8,17%
165,50	1587,0835	-115,0127	-107,25%
197,50	14159,74	15988,717	12,92%
229,50	18394,071	20170,983	9,66%
229,50	12328,638	12245,949	-0,67%
260,25	6656,9801	6591,2779	-0,99%
291,00	5411,6565	5427,8402	0,30%
311,00	11859,654	11876,98	0,15%
331,00	13997,804	14015,188	0,12%



Gambar 4.86 Perbandingan pada Bidang Torsi.

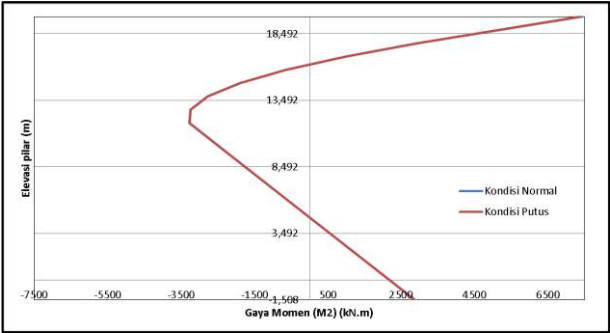
4.12.3. Pengaruh Kabel Penggantung Putus terhadap Pilar

Pada sub-bab berikut ditampilkan gaya-gaya dalam yang menunjukkan perbandingan antara kondisi normal dan setelah putus pada pilar.

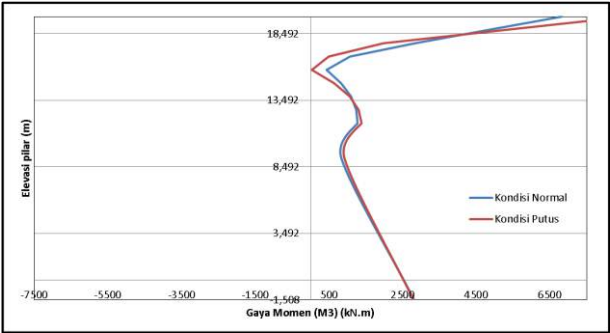
4.12.3.1. Gaya momen sebelum dan setelah kabel penggantung putus

Tabel 4.90 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Momen Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.

Station	Kondisi Normal		Kondisi Putus		Perbedaan	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
m	KN-m	KN-m	KN-m	KN-m	%	%
19,782	7436,002	6818,365	7370,474	8592,3873	-0,88%	26,02%
18,782	5187,0799	4817,8116	5157,654	5276,2077	-0,57%	9,51%
18,782	5187,0799	4817,8116	5157,654	5276,2077	-0,57%	9,51%
17,782	2943,1675	2837,2143	2950,355	1980,2904	0,24%	-30,20%
17,782	2943,1675	2837,2143	2950,355	1980,2904	0,24%	-30,20%
16,782	989,208	1069,8513	998,5906	490,8263	0,95%	-54,12%
16,782	989,208	1069,8513	998,5906	490,8263	0,95%	-54,12%
15,782	-648,0399	433,1481	-638,392	33,3542	-1,49%	-92,30%
15,782	-648,0399	433,1481	-638,392	33,3542	-1,49%	-92,30%
14,782	-1905,0767	825,4712	-1894,09	635,7383	-0,58%	-22,98%
14,782	-1905,0767	825,4712	-1894,09	635,7383	-0,58%	-22,98%
13,782	-2782,8622	1096,3958	-2771,63	1061,6865	-0,40%	-3,17%
13,782	-2782,8622	1096,3958	-2771,63	1061,6865	-0,40%	-3,17%
12,782	-3247,3445	1237,9405	-3236,44	1301,2521	-0,34%	5,11%
12,782	-3247,3445	1237,9405	-3236,44	1301,2521	-0,34%	5,11%
11,782	-3274,1961	1273,2002	-3264,2	1382,3047	-0,31%	8,57%
11,782	-3274,1961	1273,2002	-3264,2	1382,3047	-0,31%	8,57%
9,137	-2055,6481	834,5382	-2049,13	918,5495	-0,32%	10,07%
-1,508	2879,196	2810,156	2869,001	2792,1581	-0,35%	-0,64%



Gambar 4.87 Perbandingan Momen M_2 pada Pilar.

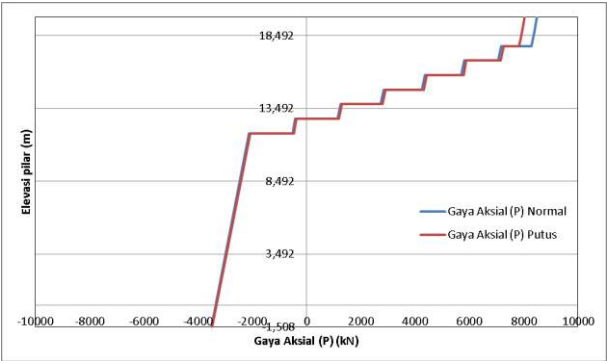


Gambar 4.88 Perbandingan Momen M_3 pada Pilar.

4.12.3.2. Gaya aksial sebelum dan setelah kabel penggantung putus

Tabel 4.91 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Aksial Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.

Station	Kondisi Normal	Kondisi Putus	Perbedaan
	P	P	P
m	KN	KN	%
19,782	8492,561	8036,783	-5,37%
18,782	8387,456	7931,678	-5,43%
18,782	8387,486	7931,71	-5,43%
17,782	8282,381	7826,605	-5,50%
17,782	7156,199	7247,08	1,27%
16,782	7051,094	7141,975	1,29%
16,782	5798,892	5880,401	1,41%
15,782	5693,787	5775,296	1,43%
15,782	4355,197	4427,729	1,67%
14,782	4250,092	4322,624	1,71%
14,782	2832,067	2895,622	2,24%
13,782	2726,962	2790,517	2,33%
13,782	1244,964	1299,615	4,39%
12,782	1139,859	1194,51	4,79%
12,782	-420,323	-373,76	-11,08%
11,782	-525,428	-478,865	-8,86%
11,782	-2115,525	-2078,345	-1,76%
9,137	-2393,528	-2356,348	-1,55%
-1,508	-3512,37	-3475,191	-1,06%

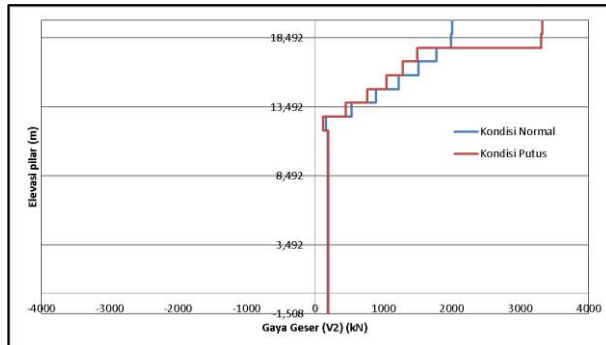


Gambar 4.89 Perbandingan Aksial pada Pilar.

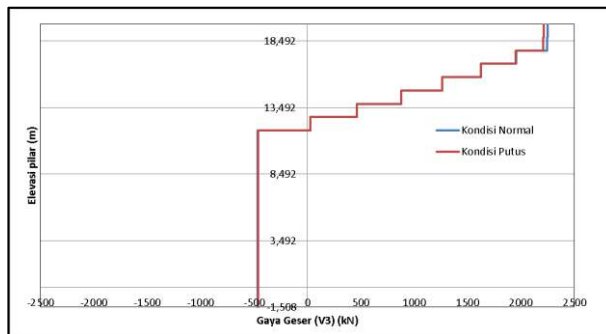
4.12.3.3. Gaya geser sebelum dan setelah kabel penggantung putus

Tabel 4.92 Rekapitulasi Perhitungan Gaya Geser Sebelum dan Sesudah Kabel Penggantung Putus.

Station	Kondisi Normal		Kondisi Putus		Perbedaan	
	V2	V3	V2	V3	V2	V3
m	KN	KN	KN	KN	%	%
19,782	2001,646	2249,036	3317,441	2212,91	65,74%	-1,61%
18,782	2001,646	2249,036	3317,441	2212,91	65,74%	-1,61%
18,782	1983,226	2244,235	3299,541	2208,099	66,37%	-1,61%
17,782	1983,226	2244,235	3299,541	2208,099	66,37%	-1,61%
17,782	1772,408	1956,097	1494,671	1954,104	-15,67%	-0,10%
16,782	1772,408	1956,097	1494,671	1954,104	-15,67%	-0,10%
16,782	1513,31	1625,977	1282,373	1624,526	-15,26%	-0,09%
15,782	1513,31	1625,977	1282,373	1624,526	-15,26%	-0,09%
15,782	1223,42	1266,16	1038,972	1265,214	-15,08%	-0,07%
14,782	1223,42	1266,16	1038,972	1265,214	-15,08%	-0,07%
14,782	894,148	878,794	758,829	878,499	-15,13%	-0,03%
13,782	894,148	878,794	758,829	878,499	-15,13%	-0,03%
13,782	536,282	465,433	448,794	465,78	-16,31%	0,07%
12,782	536,282	465,433	448,794	465,78	-16,31%	0,07%
12,782	159,267	28,005	114,972	28,989	-27,81%	3,51%
11,782	159,267	28,005	114,972	28,989	-27,81%	3,51%
11,782	181,21	-463,009	190,725	-461,49	5,25%	-0,33%
9,137	181,21	-463,009	190,725	-461,49	5,25%	-0,33%
-1,508	181,21	-463,009	190,725	-461,49	5,25%	-0,33%



Gambar 4.90 Perbandingan Geser V2 pada Pilar.

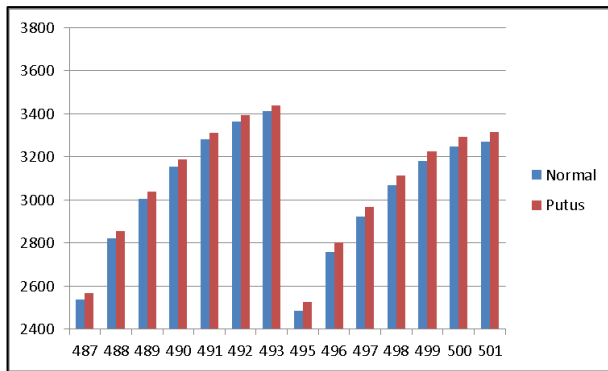


Gambar 4.91 Perbandingan Geser V3 pada Pilar.

4.12.4. Pengaruh Kondisi Kabel Putus terhadap Tegangan Kabel Lainnya

Pada sub-bab berikut ditampilkan tegangan yang menunjukkan perbandingan antara kondisi normal dan setelah putus pada kabel.

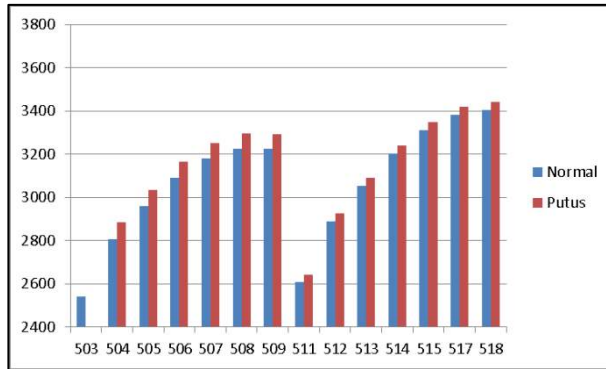
Dari hasil analisa ini akan didapatkan nilai tegangan yang akan dijadikan perhitungan dalam menentukan jumlah tendon yang dipakai sebenarnya.



Gambar 4.92 Perbandingan Gaya Tarik pada Kabel (Frame 487 – 501).

Tabel 4.93 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Tegangan Sebenarnya (Frame 487 – 501)

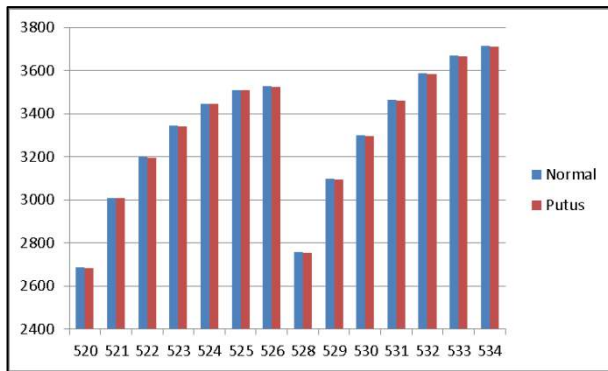
No	Frame	Normal	Putus	%
	Text	KN	KN	
1	487	2535,839	2567,378	1,24%
2	488	2820,681	2854,266	1,19%
3	489	3003,228	3036,63	1,11%
4	490	3154,201	3186,657	1,03%
5	491	3280,169	3311,297	0,95%
6	492	3364,917	3394,403	0,88%
7	493	3411,218	3439,018	0,81%
8	495	2486,155	2526,106	1,61%
9	496	2759,536	2803,327	1,59%
10	497	2922,266	2967,322	1,54%
11	498	3068,833	3114,235	1,48%
12	499	3179,339	3224,518	1,42%
13	500	3246,396	3290,989	1,37%
14	501	3271,717	3315,726	1,35%



Gambar 4.93 Perbandingan Gaya Tarik pada Kabel (Frame 503 – 518).

Tabel 4.94 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Tegangan Sebenarnya (Frame 503 – 518).

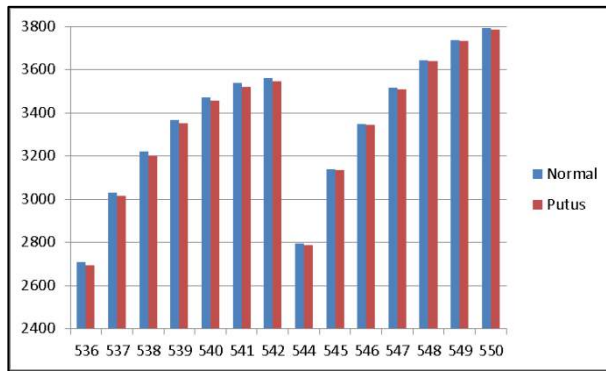
No	Frame	Normal	Putus	%
	Text	KN	KN	
15	503	2542,025		-100,00%
16	504	2806,586	2885,475	2,81%
17	505	2958,105	3035,544	2,62%
18	506	3089,587	3164,913	2,44%
19	507	3178,72	3251,412	2,29%
20	508	3226,644	3296,902	2,18%
21	509	3223,335	3291,742	2,12%
22	511	2608,341	2642,097	1,29%
23	512	2887,942	2924,603	1,27%
24	513	3052,912	3090,296	1,22%
25	514	3201,737	3239,117	1,17%
26	515	3310,461	3347,399	1,12%
27	517	3381,146	3417,599	1,08%
28	518	3405,028	3441,158	1,06%



Gambar 4.94 Perbandingan Gaya Tarik pada Kabel (Frame 520 – 534).

Tabel 4.95 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Tegangan Sebenarnya (Frame 520 – 534).

No	Frame	Normal	Putus	%
	Text	KN	KN	
29	520	2688,59	2685,103	-0,13%
30	521	3009,635	3006,717	-0,10%
31	522	3197,633	3195,603	-0,06%
32	523	3343,064	3341,901	-0,03%
33	524	3446,335	3445,861	-0,01%
34	525	3508,455	3508,345	0,00%
35	526	3525,971	3525,781	-0,01%
36	528	2757,137	2752,573	-0,17%
37	529	3097,517	3093,151	-0,14%
38	530	3301,097	3297,202	-0,12%
39	531	3463,535	3460,079	-0,10%
40	532	3586,111	3582,876	-0,09%
41	533	3670,009	3666,772	-0,09%
42	534	3712,797	3709,162	-0,10%



Gambar 4.95 Perbandingan Gaya Tarik pada Kabel (Frame 536 – 550).

Tabel 4.96 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Tegangan Sebenarnya (Frame 536 – 550).

No	Frame	Normal	Putus	%
	Text	KN	KN	
43	536	2708,754	2694,753	-0,52%
44	537	3031,711	3015,783	-0,53%
45	538	3220,599	3204,197	-0,51%
46	539	3367,272	3350,836	-0,49%
47	540	3472,789	3456,384	-0,47%
48	541	3538,921	3521,989	-0,48%
49	542	3562,946	3545,207	-0,50%
50	544	2794,539	2788,697	-0,21%
51	545	3140,029	3134,443	-0,18%
52	546	3347,817	3342,772	-0,15%
53	547	3515,347	3510,732	-0,13%
54	548	3644,406	3639,843	-0,13%
55	549	3737,045	3732,139	-0,13%
56	550	3792,06	3786,143	-0,16%

4.12.5. Penyesuaian Kebutuhan Tendon Kabel

Berdasarkan hasil analisis didapat gaya tarik terbesar adalah 3792,06 kN pada kondisi normal dan 3786,143 kN pada kondisi kasus kabel putus.

Dari dua nilai tersebut dipilih 3792,06 kN untuk perhitungan tendon yang akan digunakan pada flyover dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T &= 3792,06 \text{ kN} \\ \sigma_{ijin} &= 0,6 F_u \\ F_u &= 1680 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan luasan tendon adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_s &= T / \sigma_{ijin} \\ &= 3792,06 \times 10^3 / 0,6 \times 1680 \\ &= 3797,849 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan tendon VSL SSI 2000-D dan luas per strand adalah 143,3 mm², maka kebutuhan strand adalah:

$$\begin{aligned} N &= A_s / 143,3 \\ &= 3797,849 / 143,3 \\ &= 24 \text{ Strand} \end{aligned}$$

Untuk kabel penggantung digunakan cable unit VSL Ssi 2000-D tipe 6-31.

4.12.6. Kontrol pada Kondisi Kabel Penggantung Putus Terhadap Momen Nominal dan Momen Crack

Nilai momen yang diakibatkan oleh kondisi kabel putus pada tengah bentang kemudian dianalisis terhadap nilai momen nominal dan momen crack pada pengecekan yang diakibatkan oleh pengaruh kabel prategang.

Tabel 4.97 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Terhadap Momen Monimal dan Momen Crack.

No.	Station	ϕM_n	$M_{u \text{ putus}}$	$1,2M_{cr}$
	(m)	kN.m	kN.m	(kN.m)
1	0,00	364241,236	-1966,079	337695,883
2	40,00	1012496,241	502700,000	875160,435
3	101,50	1527337,559	-859461,100	1238279,223
4	165,50	800239,657	389059,000	619730,306
5	229,50	1527337,559	-858515,000	1238267,413
6	291,00	1012496,241	503027,000	875132,368
7	331,00	364241,236	-1948,025	337684,182

Tabel 4.98 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Terhadap Momen Monimal dan Momen Crack.

No.	Station	$\phi M_n > M_u$	$1,2M_{cr} > M_u$	$\phi M_n > 1,2M_{cr}$
	(m)	(mm)	(kN.m)	(Mpa)
1	0,00	[OK]	[OK]	[OK]
2	40,00	[OK]	[OK]	[OK]
3	101,50	[OK]	[OK]	[OK]
4	165,50	[OK]	[OK]	[OK]
5	229,50	[OK]	[OK]	[OK]
6	291,00	[OK]	[OK]	[OK]
7	331,00	[OK]	[OK]	[OK]

4.13. Penulangan pada Flyover

4.13.1. Penulangan lentur

Nilai beban pada tulangan lentur diambil dari analisa yang dilakukan pada program bantu CSi Bridge dengan total 25% dari nilai envelope beban ultimate yang terjadi pada flyover. Berikut adalah hasil rekapitulasi momen yang ada pada masing-

masing segmen pada penampang flyover yang ditunjukkan pada Tabel 4.99 di bawah ini:

Tabel 4.99 Rekapitulasi Momen Pada Masing-Masing Segmen.

Keterangan	100%		25%	
	M11 (kN.m)	M22 (kN.m)	M11 (kN.m)	M22 (kN.m)
Pelat atas	932,748	339,151	233,187	84,788
Pelat badan luar	2468,452	1063,205	617,113	265,801
Pelat badan dalam	63,328	240,320	15,832	60,080
Pelat bawah	5183,810	778,739	1295,952	194,685

Dari data tersebut dapat ditentukan kebutuhan tulangan pada masing-masing segmen dengan mengikuti langkah-langkah berikut:

1. Menentukan data-data perencanaan μ , C_c , t_{pelat} , dx , f_c' , dan f_y .
2. Menentukan momen nominal

$$M_n = \frac{M_u}{0,8}$$

3. Menentukan nilai R_n dan m

$$R_n = \frac{M_n}{b \times dx^2}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

4. Menentukan nilai ρ_{\min} dan ρ_{\max}

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

5. Menentukan nilai ρ_{perlu}

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

6. Menentukan luas tulangan perlu

$$A_{s\ perlu} = \rho_{min} \times b \times dx$$

Pada penulangan ini akan digunakan tulangan ulir dengan diameter D25 ($A_s = 490,874 \text{ mm}^2$) dan diameter D32 ($A_s = 804,248 \text{ mm}^2$) untuk pilar dengan mutu BjTD 40 ($f_y = 400 \text{ Mpa}$). Berikut adalah tabel perhitungan penulangan pada masing-masing segmen yang ditunjukkan oleh Tabel 4.100 dan Tabel 4.101 di bawah ini:

Tabel 4.100 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Masing-Masing Segmen.

M11

	Atas	Badan luar	Badan dalam	Bawah
Mu (n.mm)	2,33E+08	6,17E+08	1,58E+07	1,95E+08
Mn (n.mm)	2,91E+08	7,71E+08	1,98E+07	2,43E+08
D (mm)	50	50	50	50
b (mm)	1000	1000	1000	1000
tpelat (mm)	300	758	800	500
dx (mm)	250	708	750	450
fc' (MPa)	50	50	50	50
fy (Mpa)	390	390	390	390
ø	0,8	0,8	0,8	0,8
Rn	4,6637	1,5389	0,0352	1,2018
m	9,176	9,176	9,176	9,176
ρ_{min}	0,0036	0,0036	0,0036	0,0036
β_1	0,69	0,69	0,69	0,69
$\rho_{balance}$	0,0456	0,0456	0,0456	0,0456
ρ_{max}	0,0342	0,0342	0,0342	0,0342
ρ_{perlu}	0,0127	0,0040	0,0001	0,0031
ρ_{pakai}	0,0127	0,0040	0,0036	0,0036
A_s perlu	3174,533	2846,178	2692,308	1615,385
n	4	4	4	3
S_{min}	250	250	250	334
Tulangan Pakai	D25-250	D25-25	D25-250	D25-250

Tabel 4.101 Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Terhadap Momen Monimal dan Momen Crack.

M22

	Atas	Badan luar	Badan dalam	Bawah
Mu (n.mm)	8,48E+07	2,66E+08	6,01E+07	1,95E+08
Mn (n.mm)	1,06E+08	3,32E+08	7,51E+07	2,43E+08
D (mm)	50	50	50	50
b (mm)	1000	1000	1000	1000
tpelat (mm)	300	758	800	500
dy (mm)	250	708	750	450
fc' (MPa)	50	50	50	50
fy (Mpa)	390	390	390	390
ø	0,8	0,8	0,8	0,8
Rn	1,6958	0,6628	0,1335	1,2018
m	9,176	9,176	9,176	9,176
ρ_{min}	0,0036	0,0036	0,0036	0,0036
β_1	0,69	0,69	0,69	0,69
$\rho_{balance}$	0,0456	0,0456	0,0456	0,0456
ρ_{max}	0,0342	0,0342	0,0342	0,0342
ρ_{perlu}	0,0044	0,0017	0,0003	0,0031
ρ_{pakai}	0,0044	0,0036	0,0036	0,0036
A_s perlu	1109,620	2541,538	2692,308	1615,385
n	2	4	4	3
S_{min}	500	250	250	334
Tulangan Pakai	D25-500	D25-250	D25-250	D25-250

4.13.2. Penulangan geser pada flyover

Nilai gaya geser ultimate pada penulangan merupakan gaya geser envelope dari program bantu CSI Bridge. Acuan dalam perencanaan penulangan geser adalah RSNI T-12 2004

Pasal 6.8.10.2, berikut adalah nilai V_u dan V_n pada masing-masing segmen yang ditunjukkan Tabel 4.102 di bawah ini:

Tabel 4.102 Rekapitulasi Perhitungan Nilai V_u dan V_n pada Masing-Masing Segmen.

No.	Station	V_u	$V_n = V_u/0,85$
		(N)	(N)
1	0,00	2,73E+07	3,21E+07
2	20,00	1,14E+07	1,34E+07
3	40,00	4,64E+06	5,46E+06
4	70,75	2,29E+07	2,69E+07
5	101,50	4,83E+07	5,69E+07
6	101,50	4,42E+07	5,20E+07
7	133,50	1,80E+07	2,12E+07
8	165,50	6,17E+05	7,26E+05
9	197,50	2,04E+07	2,40E+07
10	229,50	4,62E+07	5,44E+07
11	229,50	4,60E+07	5,41E+07
12	260,25	2,02E+07	2,38E+07
13	291,00	3,80E+06	4,47E+06
14	311,00	1,30E+07	1,53E+07
15	331,00	2,98E+07	3,50E+07

Setelah ditentukan nilai V_n langkah berikutnya adalah menentukan nilai gaya geser akibat tendon (V_p), gaya geser akibat beban mati tak terfaktor (V_d), dan beban luar tak terfaktor (V_i).

Tabel 4.103 Rekapitulasi Perhitungan Nilai V_p , V_d , dan V_i .

No.	V_p	V_d	V_i
	(N)	(N)	(N)
1	3,34E+06	1,81E+07	9,18E+06
2	3,34E+06	3,63E+06	7,78E+06
3	-1,49E+06	1,09E+07	6,22E+06
4	-3,15E+06	2,03E+07	2,57E+06
5	6,53E+06	2,97E+07	1,86E+07
6	-6,30E+06	2,95E+06	4,13E+07
7	1,98E+06	4,86E+06	1,31E+07
8	-9,85E+03	1,27E+07	1,21E+07
9	-1,86E+06	2,05E+07	6,70E+04
10	6,46E+06	2,83E+07	1,79E+07
11	-6,53E+06	3,06E+07	1,54E+07
12	3,12E+06	2,10E+07	7,87E+05
13	1,80E+06	1,14E+07	7,60E+06
14	-3,34E+06	3,36E+06	9,63E+06
15	-3,34E+06	1,81E+07	1,16E+07

Perhitungan kebutuhan tulangan didasarkan pada nilai terkecil dari retak geser pada bagian badan di dekat tumpuan (V_{cw}) dan retak geser miring di dekat tengah bentang (V_{ci}). Nilai V_{cw} dan V_{ci} didapat dengan rumus berikut:

Perhitungan kebutuhan tulangan didasarkan pada nilai terkecil dari retak geser pada bagian badan di dekat tumpuan (V_{cw}) dan retak geser miring di dekat tengah bentang (V_{ci}). Nilai V_{cw} dan V_{ci} didapat dengan Persamaan 4.63 berikut:

4.13.2.1. Retak geser pada badan (V_{cw}) :

$$V_{cw} = V_t + V_p \quad (4.63)$$

Dimana:

$$V_t = 0,3 (\sqrt{f'_c} + f_{pc}) \times b_w \times d \quad (4.64)$$

$$f_{pc} = \frac{f_{eff}}{\Lambda_c} \quad (4.65)$$

Sehingga:

$$V_{cw} = \{0,3(\sqrt{f'_c} + f_{pc}) \times b_w \times d\} + V_p \quad (4.66)$$

Keterangan:

V_{cw} = Kuat geser pada bagian badan

f'_c = Mutu beton prategang

f_{pc} = Tegangan tekan rata-rata pada beton akibat gaya prategang efektif (sesudah memperhitungkan semua kehilangan gaya prategang) pada titik berat penampang yang menahan beban luar

b_w = Lebar badan

V_p = Tekanan tendon keatas

d = Jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik longitudinal

Sebagai contoh perhitungan akan dilakukan pada station +40,00 m dengan data sebagai berikut:

f'_c = 50 Mpa

F_{eff} = $2,34 \times 10^8$ N

A = $2,25 \times 10^7$ mm²

b_w = $2 \times (758 + 800)$
= 3116 mm

d = 3952,293 mm

V_p = $-1,49 \times 10^6$ N

$$V_{cw} = \left\{0,3 \left(\sqrt{50} + \frac{2,34 \times 10^8}{2,25 \times 10^7} \right) \times 3116 \times 3952,293 \right\} - 1,49 \times 10^6$$

$$= 6,31 \times 10^7 \text{ N}$$

4.13.2.2. Retak geser tertentur (V_{ci}) :

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{20} \times b_w \times d \right) + V_d + \left(\frac{V_i \times M_{cr}}{M_{max}} \right) \geq \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{7} \times b_w \times d \right) \quad (4.67)$$

Keterangan:

V_{ci} = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada saat terjadinya keretakan diagonal akibat kombinasi momen dan geser

f'_c = Mutu beton prategang

b_w = Lebar badan

d = Jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik longitudinal

V_d = Gaya geser pada penampang akibat beban mati tidak terfaktor

V_i = Gaya geser pada penampang akibat beban luar tidak terfaktor

M_{cr} = Momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur pada penampang akibat beban luar

Sebagai contoh perhitungan digunakan data pada station +20,00 m seperti yang ditampilkan berikut:

f'_c = 50 Mpa

b_w = 3116 mm

d = 2940,148 mm

V_d = $3,63 \times 10^6$ N

V_i = $7,78 \times 10^6$ N

M_{cr} = $5,05 \times 10^5$ kN.m

M_{max} = $1,03 \times 10^6$ kN.m

$$\begin{aligned} V_{ci} &= \left(\frac{\sqrt{50}}{20} \times 3116 \times 2940,148 \right) + 3,36 \times 10^6 + \\ &\quad \left(\frac{7,78 \times 10^6 \times 5,50 \times 10^5}{1,03 \times 10^6} \right) \geq \left(\frac{\sqrt{50}}{7} \times 3116 \times 2940,148 \right) \\ &= 1,07 \times 10^7 \geq 9,25 \times 10^6 \\ &= 1,07 \times 10^7 \text{ N} \end{aligned}$$

4.13.2.3. Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan

Berikut adalah hasil perhitungan V_{ew} dan V_{ci} serta rekapitulasi kebutuhan tulangan yang ditunjukkan pada Tabel 4.104 hingga Tabel 4.109:

A. Rekapitulasi retak geser pada badan

Tabel 4.104 Rekapitulasi Perhitungan Retak Geser pada Badan.

No.	Station	F_{eff}	A	H	d
		(N)	(mm ²)	(mm)	(mm)
1	0,00	1,41E+08	2,25E+07	4500	2131,100
2	20,00	2,11E+08	2,25E+07	4500	2940,148
3	40,00	2,34E+08	2,25E+07	4500	3952,293
4	70,75	1,41E+08	2,25E+07	4500	2838,921
5	101,50	3,75E+08	3,90E+07	4500	509,896
6	101,50	3,75E+08	3,90E+07	4500	509,896
7	133,50	1,41E+08	2,25E+07	4500	2330,010
8	165,50	2,11E+08	2,25E+07	4500	3480,701
9	197,50	1,41E+08	2,25E+07	4500	2330,010
10	229,50	3,75E+08	3,90E+07	4500	509,896
11	229,50	3,75E+08	3,90E+07	4500	509,896
12	260,25	1,41E+08	2,25E+07	4500	2838,921
13	291,00	2,34E+08	2,25E+07	4500	3952,293
14	311,00	2,11E+08	2,25E+07	4500	2940,148
15	331,00	1,41E+08	2,25E+07	4500	2131,100

Tabel 4.105 Rekapitulasi Perhitungan Retak Geser pada Badan (Lanjutan).

No.	Station	fpc	bw	Vp	Vcw
		(Mpa)	(mm)	(N)	(N)
1	0,00	6,240	3116	3,34E+06	2,99E+07
2	20,00	9,360	3116	3,34E+06	4,85E+07
3	40,00	10,400	3116	-1,49E+06	6,31E+07
4	70,75	6,240	3116	-3,15E+06	3,22E+07
5	101,50	9,616	3116	6,53E+06	1,45E+07
6	101,50	9,616	3116	-6,30E+06	1,65E+06
7	133,50	6,240	3116	1,98E+06	3,10E+07
8	165,50	9,360	3116	-9,85E+03	5,35E+07
9	197,50	6,240	3116	-1,86E+06	2,71E+07
10	229,50	9,616	3116	6,46E+06	1,44E+07
11	229,50	9,616	3116	-6,53E+06	1,42E+06
12	260,25	6,240	3116	3,12E+06	3,84E+07
13	291,00	10,400	3116	1,80E+06	6,64E+07
14	311,00	9,360	3116	-3,34E+06	4,18E+07
15	331,00	6,240	3116	-3,34E+06	2,32E+07

B. Rekapitulasi retak geser terlentur

Tabel 4.86 Rekapitulasi Perhitungan Retak Geser Terlentur.

No.	Station	bw	d	Vd	Vi
		(mm)	(mm)	(N)	(N)
1	0,00	3116,000	2131,100	1,81E+07	9,18E+06
2	20,00	3116,000	2940,148	3,63E+06	7,78E+06
3	40,00	3116,000	3952,293	1,09E+07	6,22E+06
4	70,75	3116,000	2838,921	2,03E+07	2,57E+06
5	101,50	3116,000	509,896	2,97E+07	1,86E+07
6	101,50	3116,000	509,896	2,95E+06	4,13E+07
7	133,50	3116,000	2330,010	4,86E+06	1,31E+07
8	165,50	3116,000	3480,701	1,27E+07	1,21E+07
9	197,50	3116,000	2330,010	2,05E+07	6,70E+04
10	229,50	3116,000	509,896	2,83E+07	1,79E+07
11	229,50	3116,000	509,896	3,06E+07	1,54E+07
12	260,25	3116,000	2838,921	2,10E+07	7,87E+05
13	291,00	3116,000	3952,293	1,14E+07	7,60E+06
14	311,00	3116,000	2940,148	3,36E+06	9,63E+06
15	331,00	3116,000	2131,100	1,81E+07	1,16E+07

Tabel 4.106 Rekapitulasi Perhitungan Retak Geser Terlentur (Lanjutan).

No.	Station	Mcr	Vci min	Vci	Vci pakai
		(kN.m)	(N)	(N)	(N)
1	0,00	2,81E+05	6,71E+06	2,30E+07	2,30E+07
2	20,00	5,05E+05	9,25E+06	1,07E+07	1,07E+07
3	40,00	7,29E+05	1,24E+07	1,96E+07	1,96E+07
4	70,75	8,81E+05	8,94E+06	2,56E+07	2,56E+07
5	101,50	1,03E+06	1,60E+06	4,89E+07	4,89E+07
6	101,50	1,03E+06	1,60E+06	4,48E+07	4,48E+07
7	133,50	7,74E+05	7,33E+06	1,73E+07	1,73E+07
8	165,50	5,16E+05	1,10E+07	2,25E+07	2,25E+07
9	197,50	7,74E+05	7,33E+06	2,31E+07	2,31E+07
10	229,50	1,03E+06	1,60E+06	4,68E+07	4,68E+07
11	229,50	1,03E+06	1,60E+06	4,65E+07	4,65E+07
12	260,25	8,81E+05	8,94E+06	2,48E+07	2,48E+07
13	291,00	7,29E+05	1,24E+07	2,11E+07	2,11E+07
14	311,00	5,05E+05	9,25E+06	1,13E+07	1,13E+07
15	331,00	2,81E+05	6,71E+06	2,36E+07	2,36E+07

C. Rekapitulasi kebutuhan tulangan geser

Tabel 4.107 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tulangan Geser

No.	Station	Vcw	Vci	Vc
		(N)	(N)	(N)
1	0,00	2,99E+07	2,30E+07	2,30E+07
2	0,00	4,85E+07	1,07E+07	1,07E+07
3	20,00	6,31E+07	1,96E+07	1,96E+07
4	40,00	3,22E+07	2,56E+07	2,56E+07
5	70,75	1,45E+07	4,89E+07	1,45E+07
6	101,50	1,65E+06	4,48E+07	1,65E+06
7	101,50	3,10E+07	1,73E+07	1,73E+07
8	133,50	5,35E+07	2,25E+07	2,25E+07
9	165,50	2,71E+07	2,31E+07	2,31E+07
10	197,50	1,44E+07	4,68E+07	1,44E+07
11	229,50	1,42E+06	4,65E+07	1,42E+06
12	229,50	3,84E+07	2,48E+07	2,48E+07
13	260,25	6,64E+07	2,11E+07	2,11E+07
14	291,00	4,18E+07	1,13E+07	1,13E+07
15	311,00	2,32E+07	2,36E+07	2,32E+07

Tabel 4.108 Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Tulangan Geser (Lanjutan).

No.	Station	Vn	Ket	Vs
		(N)		(N)
1	0,00	3,21E+07	Perlu	9,15E+06
2	0,00	1,34E+07	Perlu	2,75E+06
3	20,00	5,46E+06	Tidak	Av min
4	40,00	2,69E+07	Perlu	1,28E+06
5	70,75	5,69E+07	Perlu	4,24E+07
6	101,50	5,20E+07	Perlu	5,04E+07
7	101,50	2,12E+07	Perlu	3,89E+06
8	133,50	7,26E+05	Tidak	Av min
9	165,50	2,40E+07	Perlu	9,20E+05
10	197,50	5,44E+07	Perlu	4,00E+07
11	229,50	5,41E+07	Perlu	5,26E+07
12	229,50	2,38E+07	Tidak	Av min
13	260,25	4,47E+06	Tidak	Av min
14	291,00	1,53E+07	Perlu	3,97E+06
15	311,00	3,50E+07	Perlu	1,18E+07

4.13.2.4. Perencanaan kebutuhan tulangan geser

Dengan mengetahui besarnya gaya geser yang harus ditahan oleh tulangan maka dapat direncanakan tulangan geser untuk menahan gaya geser tersebut.

- Untuk tulangan geser (senggang) tegak lurus :

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \quad (4.68)$$

Beberapa ketentuan untuk tulangan geser:

- Jarak tulangan :

$$V_s \leq V = \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \times b_w \times d \quad \text{maka} \quad S \leq \frac{1}{2}d \quad \text{atau} \quad 600 \text{ mm (ambil yang terkecil)}$$

$$V_s \geq V = \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \times b_w \times d \text{ maka } S \leq \frac{1}{4}d \text{ atau } 300 \text{ mm (ambil yang terkecil)}$$

Perencanaan tulangan geser digunakan pada station +229,50 m dikarenakan memiliki gaya geser terbesar. Kebutuhan tulangan geser pada station tersebut adalah $5,26 \times 10^7 \text{ N}$.

Berikut adalah perhitungannya:

$$V = \frac{\sqrt{f'_c}}{3} \times b_w \times d \quad (4.69)$$

Dimana,

$$\begin{aligned} d &= H - C_c - 0,5 \times D \\ &= 4500 - 50 - 0,5 \times 19 \\ &= 4440,50 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.70)$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{\sqrt{50}}{3} \times 3116 \times 4440,50 \\ &= 3,26 \times 10^7 \text{ N} < V_s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{1}{4} d \\ &= 1110,125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_2 = 300 \text{ mm} \quad [\text{Menentukan}]$$

$$\text{Spakai} = 150 \text{ mm}$$

Kekuatan tulangan geser

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

Dimana,

A_v digunakan 16 Kaki D19:

$$\begin{aligned} A_v &= 16 \times 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 16 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4536,459 \text{ mm}^2 \\
 f_y &= 400 \text{ Mpa (BjTD 40)} \\
 V_s &= \frac{4536,459 \times 400 \times 4440,50}{150} \\
 &= 5,37 \times 10^7 \text{ N} > 5,26 \times 10^7 \text{ N} \quad [\text{OK}]
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk tulangan geser digunakan **16 Kaki D19 – 150**

4.13.3. Kontrol dan penulangan torsi pada penampang

4.13.3.1. Penentuan momen torsi akibat beban luar

Akibat Beban BTR

Dari hasil perhitungan sebelumnya diketahui nilai BTR adalah sebagai berikut:

$$BTR = 5,55 \text{ kPa}$$

Sehingga momen yang dihasilkan akibat beban BTR adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_{BTR} &= L \times 0,5 \times R^2 \times BTR \\
 &= 128 \times 0,5 \times 8^2 \times 5,55 \\
 &= 22752 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Akibat Beban BGT

Dari hasil perhitungan sebelumnya diketahui nilai BGT adalah sebagai berikut:

$$Q_{BGT} = 63,7 \text{ kN/m}$$

Sehingga momen yang dihasilkan akibat beban BGT adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_{BGT} &= 0,5 \times R^2 \times BTR \\
 &= 0,5 \times 8^2 \times 63,7 \\
 &= 2038,4 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Akibat Beban Angin

1. Beban angin pada struktur

Beban angin yang bekerja pada struktur diasumsikan memiliki sudut kedatangan tegak lurus dengan diasumsikan jatuh pada tengah bentang sehingga titik tangkap angin adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H &= 4500,00 & \text{mm} \\ Y_b &= 2368,90 & \text{mm} \\ Y_b - H/2 &= 118,9 & \text{mm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan sebelumnya diketahui nilai EWS adalah sebagai berikut:

$$EWS = 5,73 \text{ kN/m}$$

Sehingga momen yang dihasilkan akibat beban EWS adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{EWS} &= L \times EWS \times (Y_b - H/2) \\ &= 128 \times 5,73 \times 118,90/1000 \\ &= 87,257 & \text{kN.m} \end{aligned}$$

2. Beban angin pada kendaraan

Dari hasil perhitungan sebelumnya diketahui nilai EWL per meternya adalah sebagai berikut:

$$M'_{EWL} = 5,74 \text{ kN.m/m}$$

Sehingga momen yang dihasilkan akibat beban EWL adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{EWL} &= L \times M'_{EWL} \\ &= 128 \times 5,74 \\ &= 734,644 & \text{kN.m} \end{aligned}$$

3. Momen torsi total akibat beban luar berdasarkan hasil dari perhitungan dan program bantu

Dari hasil perhitungan didapat momen torsi total adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{total torsi}} &= 1,8 \times (M_{\text{BTR}} + M_{\text{BGT}}) + 1,3 \times (M_{\text{EWS}} + M_{\text{EWL}}) \\
 &= 1,8 \times (22752 + 2038,4) + 1,3 \times (87,257 + 734,644) \\
 &= 45.691,191 \text{ kN.m} \quad \text{[Menentukan]}
 \end{aligned}$$

Untuk momen torsi yang dianalisa oleh program bantu menggunakan nilai dari envelope kombinasi ekstrim dimana nilai yang didapat adalah sebagai berikut:

$$M_{\text{torsi max}} = 18.613,065 \text{ kN.m}$$

4.13.3.2. Perhitungan torsi ijin

Dalam perhitungan torsi ijin diasumsikan bahwa beban yang diterima oleh momen torsi ditahan oleh pelat badan, sehingga perhitungan untuk tahanan torsi oleh beton adalah sebagai berikut:

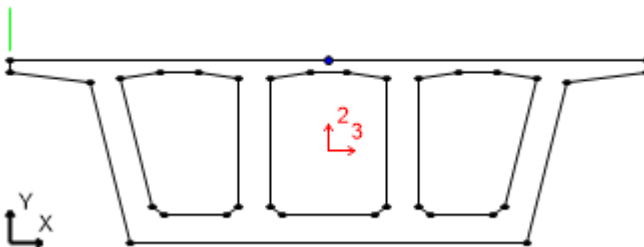
$$T_c = J_t (0,3 \sqrt{f'c'}) \sqrt{1 + \frac{10 f_{pe}}{f'c'}} \quad (4.71)$$

Dimana,

J_t = Modulus puntir (berdasarkan program bantu)

f_{pe} = Tegangan tekan rata-rata dalam balok termasuk akibat beban prategang (digunakan akibat berat sendiri terfaktor dan prategang)

Modulus puntir



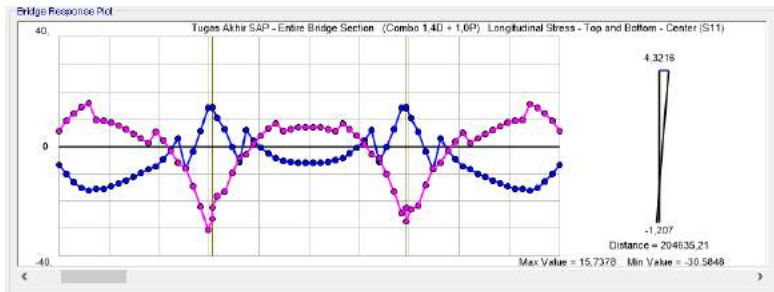
Gambar 4.96 Daerah Tahanan Torsi.

Pada Gambar 4.94 di atas menunjukkan bahwa daerah yang berwarna merah akan menjadi tahanan penampang dalam menahan beban akibat momen puntir.

$$\begin{aligned} J_t &= 56,7899 \quad \text{m}^4 \\ &= 5,679\text{E}+13 \quad \text{mm}^4 \end{aligned}$$

Tegangan tekan rata-rata

Berdasarkan program bantu CSI Bridge berikut adalah grafik tegangan tekan akibat beban 1,4D + 1,0P yang ditampilkan pada Gambar 4.95 di bawah ini:



Gambar 4.97 Grafik Tegangan Tekan Akibat Beban 1,4 D + 1,0 P.

Dimana didapat nilai tekan terbesar adalah -30,58 Mpa dengan mengasumsikan nilai tekan terkecil adalah mendekati 0,00 Mpa dan tegangan tekan tersebar secara merata maka nilai fpe dapat diasumsikan setengah dari nilai tegangan tekan terbesar atau 15,29 Mpa

Sehingga nilai tahanan torsi oleh balok adalah sebagai berikut:

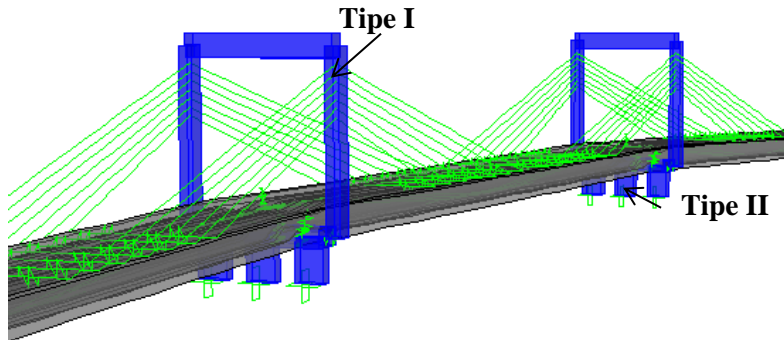
$$\begin{aligned} T_c &= 5,679 \times 10^{13} \times (0,3\sqrt{50}) \sqrt{1 + \frac{10 \times 15,29}{50}} \\ &= 2,427 \times 10^{14} \text{ N.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,427 \times 10^8 \text{ kN.m} \\
 \emptyset T_c &= 0,7 \times 2,427 \times 10^8 \\
 &= 1,699 \times 10^8 \text{ kN.m} > (T_u) 45.691,191 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_u / \emptyset T_c &< 0,25 \\
 45.691,191 / 1,699 \times 10^8 &< 0,25 \\
 0,000269 &< 0,25 \text{ [OK]}
 \end{aligned}$$

4.14. Penulangan pilar

Dalam penulangan pilar, ada dua tipe pilar yang akan direncanakan yaitu tipe I dan tipe II seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.96 dibawah ini:



Gambar 4.98 Tipe Pilar yang akan Direncanakan.

Untuk perencanaan penulangan pilar digunakan:

D19 → untuk tulangan sengkang

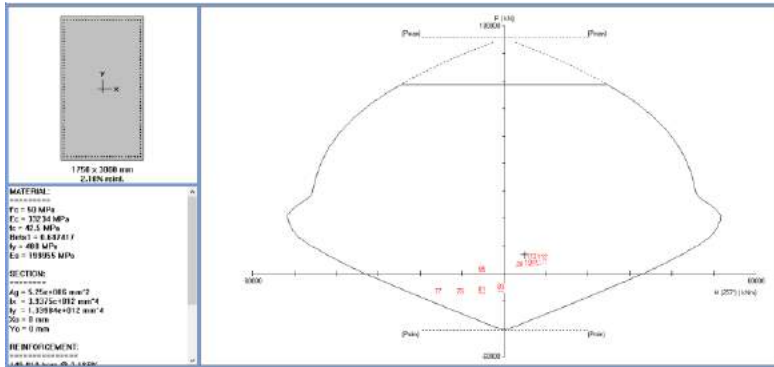
D32 → untuk tulangan longitudinal

4.14.1. Penulangan tulangan lentur pilar

Untuk ukuran pilar tipe I adalah $1,750 \times 3,000 \text{ m}^2$ dan untuk pilar tipe II adalah $3,500 \times 1,500 \text{ m}^2$.

Pembebanan yang digunakan adalah envelope dari kombinasi Kuat dan Ekstrim. Berikut adalah analisa penulangan menggunakan program bantu spColumn:

Pilar Tipe I



Gambar 4.99 Diagram Interaksi P-M pada Pilar Tipe I.

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:												
No.	Pu kN	Mux kNm	Muy kNm	PhiMux kNm	PhiMy kNm	PhiMu/Mu	NA	depth mm	Dt mm	depth mm	eps_c	Phi
1	-11454.11	3112.65	20398.78	3647.88	23906.45	1.172	184	1772	0.03304	0.900		
2	-11349.92	2096.08	13863.37	3627.08	23989.36	1.730	184	1771	0.03292	0.900		
3	-11350.02	2096.08	13867.07	3627.07	23989.31	1.730	184	1771	0.03292	0.900		
4	-11245.82	1084.81	7331.77	3562.09	24074.57	3.284	183	1769	0.03288	0.900		
5	-9717.57	1084.81	7331.77	3735.13	25244.08	3.443	195	1772	0.03065	0.900		
6	-9613.38	252.20	1940.64	3295.19	25356.37	13.066	188	1760	0.03109	0.900		
7	-7891.11	252.20	1940.64	3466.28	26672.97	13.744	201	1763	0.02872	0.900		
8	-7786.92	-84.88	1504.80	-1517.59	26904.84	17.879	167	1713	0.03083	0.900		
9	-5910.55	-84.88	1504.80	-1599.04	28348.81	18.839	180	1714	0.02829	0.900		
10	-5806.35	-131.06	4068.94	-917.56	28486.88	7.001	169	1697	0.02885	0.900		
11	-3832.50	-131.06	4068.94	-966.14	29995.06	7.372	183	1698	0.02640	0.900		
12	-3728.30	-144.51	5828.33	-746.15	30094.30	5.163	180	1692	0.02648	0.900		
13	-1632.40	-144.51	5828.33	-785.36	31675.91	5.435	195	1693	0.02417	0.900		
14	-1528.20	-132.58	6743.57	-624.61	31770.32	4.711	192	1689	0.02419	0.900		
15	602.34	-132.58	6743.57	-655.96	33365.04	4.948	209	1689	0.02204	0.900		
16	706.54	-108.14	6759.05	-535.26	33455.79	4.950	207	1687	0.02203	0.900		
17	2834.79	-108.14	6759.05	-560.18	35013.37	5.180	224	1687	0.02012	0.900		
18	3110.38	-59.46	4435.18	-472.27	35224.22	7.942	225	1685	0.01995	0.900		
19	4219.54	1078.38	7381.77	5181.97	35471.99	4.805	315	1790	0.01654	0.900		
20	5374.35	403.45	-15695.14	945.60	-36785.71	2.344	253	1695	0.01777	0.900		
21	5478.54	256.89	-10851.98	872.73	-36866.39	3.397	253	1694	0.01771	0.900		
22	5478.54	256.89	-10851.98	872.73	-36866.39	3.397	253	1694	0.01771	0.900		
23	5582.74	110.29	-6012.43	678.00	-36961.11	6.147	250	1689	0.01771	0.900		
24	6289.44	110.29	-6012.43	686.80	-37440.93	6.227	258	1689	0.01712	0.900		
25	6393.64	-5.19	-1887.72	-103.39	-37583.51	19.909	249	1677	0.01730	0.900		
26	7191.36	-5.19	-1887.72	-104.87	-38124.27	20.196	257	1677	0.01665	0.900		
27	7295.55	-392.36	-2336.95	-6283.00	-37422.18	16.013	364	1812	0.01393	0.900		
28	8178.27	-392.36	-2336.95	-6379.03	-37994.16	16.258	374	1813	0.01398	0.900		

Gambar 4. 100 Hasil Nilai P dan M dari SpColumn pada Pilar Tipe I.

Dari hasil analisa diketahui kebutuhan tulangan adalah 2,18%, sehingga kebutuhan tulangan adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah tul} = \frac{2,18\% \times 1.750 \times 3.000}{0,25 \times \pi \times 32^2}$$

$$= 140$$

$$\text{Jarak tul.} = \frac{2 \times (B + H - 4C_c)}{\text{Jumlah tulangan}}$$

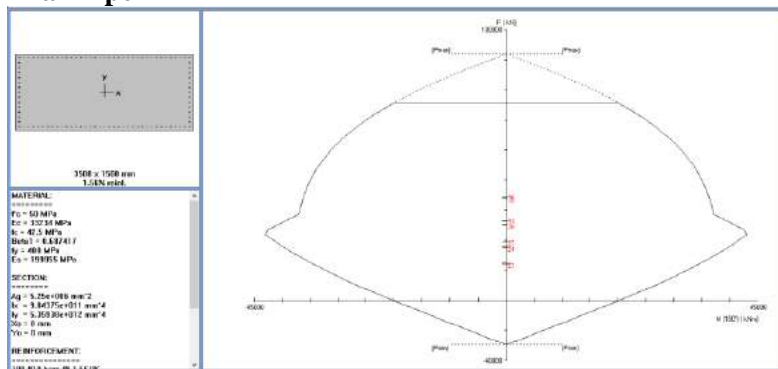
$$= \frac{2 \times (1750 + 3000 - 4 \times 50)}{140}$$

$$= 65 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan} = 125 \text{ mm (rangkap dua)}$$

Sehingga untuk tulangan tipe I digunakan **D32 – 125 mm** (rangkap dua)

Pilar Tipe II



Gambar 4.101 Diagram Interaksi P-M pada Pilar Tipe II.

No.	Pu kN	Mux kNm	Muy kNm	PhiMnx kNm	PhiMny kNm	PhiMn/Mu NA	depth mm	Dt mm	depth mm	eps_t mm	Phi
1	25664.13	8647.61	21072.24	20736.84	50530.93	2.398	1254	2865	0.00385	0.804	
2	25335.14	4323.81	10536.12	20715.35	50478.55	4.791	1248	2867	0.00389	0.807	
3	25006.14	0.00	0.00	34956.06	0.00	999.999	340	1424	0.00957	0.900	
4	36758.51	-10067.62	-12601.88	-28450.16	-35611.77	2.826	1126	2260	0.00306	0.738	
5	36429.52	-5033.81	-6300.94	-28450.98	-35612.80	5.652	1121	2259	0.00309	0.741	
6	36100.52	-0.00	-0.00	-40043.30	-0.00	999.999	447	1424	0.00657	0.900	
7	39949.63	8670.49	23359.80	19985.36	53844.07	2.305	1545	2900	0.00263	0.703	
8	39620.63	4335.24	11679.90	19987.80	53850.63	4.611	1539	2902	0.00266	0.705	
9	39291.63	0.00	0.00	41337.03	0.00	999.999	477	1424	0.00596	0.900	
10	51186.06	-10031.67	-10944.98	-28892.01	-31522.44	2.880	1317	2206	0.00204	0.654	
11	50857.07	-5015.84	-5472.49	-28916.89	-31549.58	5.765	1312	2206	0.00206	0.655	
12	50528.07	0.00	-0.00	-40544.29	-0.00	999.999	675	1424	0.00333	0.761	
13	53031.27	8555.06	28593.32	17352.01	57995.08	2.028	1840	3005	0.00190	0.650	
14	52702.27	4277.53	14296.66	17343.81	57967.68	4.055	1835	3007	0.00191	0.650	
15	52373.27	0.00	0.00	39542.25	0.00	999.999	726	1424	0.00288	0.723	
16	68300.75	-10141.97	-9658.65	-30064.57	-28631.84	2.964	1493	2160	0.00134	0.650	
17	67971.76	-5070.99	-4829.33	-30070.86	-28637.83	5.930	1488	2159	0.00136	0.650	
18	67642.76	-0.00	-0.00	-36272.71	-0.00	999.999	972	1424	0.00140	0.650	
19	24762.71	8490.56	25998.47	18272.76	55822.89	2.152	1313	3114	0.00411	0.826	
20	24433.71	4245.28	12969.24	18253.85	55765.11	4.300	1307	3116	0.00415	0.829	
21	24104.72	0.00	0.00	34506.13	0.00	999.999	331	1424	0.00990	0.900	
22	35946.11	-10193.20	-11719.53	-29333.97	-33726.46	2.878	1074	2202	0.00319	0.749	
23	35617.11	-5096.60	-5859.77	-29333.18	-33725.56	5.755	1068	2201	0.00322	0.752	
24	35288.12	-0.00	-0.00	-39696.71	-0.00	999.999	439	1424	0.00674	0.900	
25	39771.49	8445.19	27627.31	17890.19	58525.37	2.118	1602	3077	0.00276	0.713	
26	39442.49	4222.59	13813.65	17893.12	58534.96	4.237	1595	3079	0.00279	0.715	
27	39113.50	0.00	0.00	41266.32	0.00	999.999	475	1424	0.00599	0.900	
28	51004.25	-10202.76	-10601.00	-29328.91	-30473.73	2.875	1294	2178	0.00207	0.656	

Gambar 4.102 Hasil Nilai P dan M dari SpColumn pada Pilar Tye II.

Dari hasil analisa diketahui kebutuhan tulangan adalah 1,56%, sehingga kebutuhan tulangan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tul} &= \frac{1,56\% \times 1.500 \times 3.500}{0,25 \times \pi \times 32^2} \\
 &= 100 \\
 \text{Jarak tul.} &= \frac{2 \times (B + H - 4C_c)}{\text{Jumlah tulangan}} \\
 &= \frac{2 \times (1500 + 3500 - 4 \times 50)}{100} \\
 &= 96 \text{ mm} \\
 \text{Digunakan} &= 175 \text{ mm (rangkap dua)}
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk tulangan tipe I digunakan **D32 – 175 mm** (rangkap dua)

4.14.2. Tulangan geser

Pada perencanaan tulangan geser digunakan rumus berikut berdasarkan RSNI T-12 2004:

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f_c'}}{6} B \cdot d \quad (4.72)$$

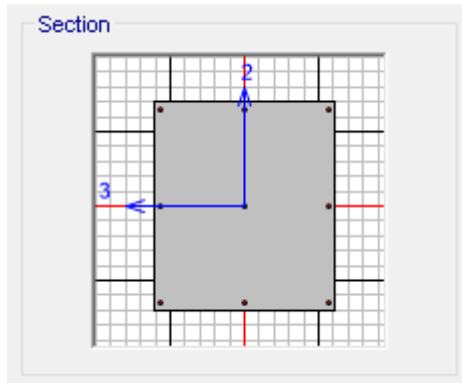
Dimana:

N_u = Gaya tekan rata-rata sepanjang pilar

A_g = Luas gross penampang pilar

Gaya dalam yang digunakan dalam pengontrolan adalah gaya yang ada akibat kondisi kabel putus. Berikut adalah hasil hitungan untuk masing-masing tipe:

A. Tipe pilar I



Gambar 4.103 Potongan Melintang Penampang Pilar Type I.

$$N_u = 1793,435 \text{ kN}$$

$$= 1793434,9 \text{ N}$$

$$A_g = 1750 \times 3000$$

$$= 5250000 \text{ mm}^2$$

$$C_c = 50,00 \text{ mm}$$

Arah 2

$$V_u = 3317,441 \text{ kN}$$

$$= 3.317.441 \text{ N}$$

$$B = 1750 \text{ mm}$$

$$d = D - C_c - 0,5 \cdot D_{19}$$

$$= 3000 - 50 - 0,5 \times 19$$

$$= 2940,50 \text{ mm}$$

Arah 3

$$V_u = 2249,036 \text{ kN}$$

$$= 2.249.036 \text{ N}$$

$$B = 3000$$

$$d = 1750 - 50 - 0,5 \times 19$$

$$= 1690,50 \text{ mm}$$

Sehingga V_c untuk arah 2 adalah

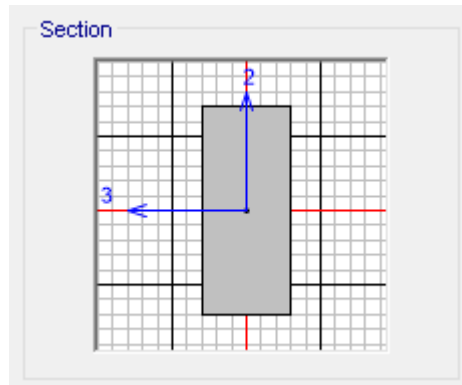
$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{1793434,9}{14 \times 5250000}\right) \times \left(\frac{50^{0,5}}{6}\right) \times 1750 \times 2940,50 \\
 &= 6.212.448 \\
 \emptyset V_c &= 0,7 \times 6.212.448 \\
 &= 4.348.713,487 \text{ N} > V_u \quad \quad \quad \text{[OK]}
 \end{aligned}$$

Dan V_c untuk arah 3 adalah

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{1793434,9}{14 \times 5250000}\right) \times \left(\frac{50^{0,5}}{6}\right) \times 3000 \times 1690,50 \\
 &= 6.122.657,316 \\
 \emptyset V_c &= 0,7 \times 6.122.657,316 \\
 &= 4285860,121 \text{ N} > V_u \quad \quad \quad \text{[OK]}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan minimum **6 Kaki D25 – 300 mm**

B. Tipe pilar II



Gambar 4.104 Potongan Melintang Penampang Pilar Type II.

$$\begin{aligned}
 N_u &= 40500,33 \text{ kN} \\
 &= 40.500.330 \text{ N} \\
 A_g &= 1500 \times 3500 \\
 &= 5250000 \text{ mm}^2 \\
 C_c &= 50,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Arah 2

$$\begin{aligned}
 V_u &= 5347,557 \text{ kN} \\
 &= 5.347.557 \text{ N} \\
 B &= 1500 \text{ mm} \\
 d &= D - C_c - 0,5.D19 \\
 &= 3500 - 50 - 0,5 \times 19 \\
 &= 3440,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Arah 3

$$\begin{aligned}
 V_u &= 2367,955 \text{ kN} \\
 &= 2.367.955 \text{ N} \\
 B &= 3500 \\
 d &= 1500 - 50 - 0,5 \times 19 \\
 &= 1440,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga V_c untuk arah 2 adalah

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{40500330}{14 \times 5250000}\right) \times \left(\frac{50^{0,5}}{6}\right) \times 1500 \times 3440,50 \\
 &= 9.433.336,844
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,7 \times 9.433.336,844 \\
 &= 6.603.335,791 \text{ N} > V_u \quad \quad \quad \text{[OK]}
 \end{aligned}$$

Dan V_c untuk arah 3 adalah

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{40500330}{14 \times 5250000}\right) \times \left(\frac{50^{0,5}}{6}\right) \times 3500 \times 1440,50 \\
 &= 9.215.816,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,7 \times 9.215.816,7 \\
 &= 6.451.071,69 \text{ N} > V_u \quad \quad \quad \text{[OK]}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan minimum **6 Kaki D25 – 300 mm**

4.15. Analisa Tahapan Konstruksi

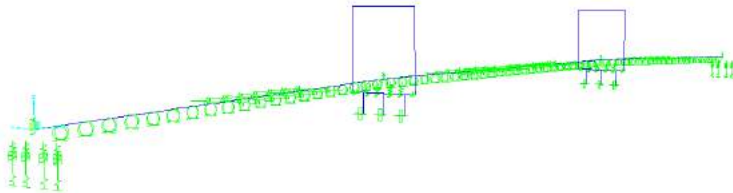
Analisa tahapan konstruksi dilakukan untuk mendapatkan gaya yang akan diterima oleh perancah nantinya. Pada perencanaan ditentukan perletakan untuk perancah pada jembatan direncanakan setiap 10,00 meter.

Beban yang bekerja merupakan kombinasi dari 1,4D + 1,0P dimana P merupakan beban pelaksanaan yang besarnya diasumsikan sebesar 9,0 kPa (Sesuai dengan beban BTR).

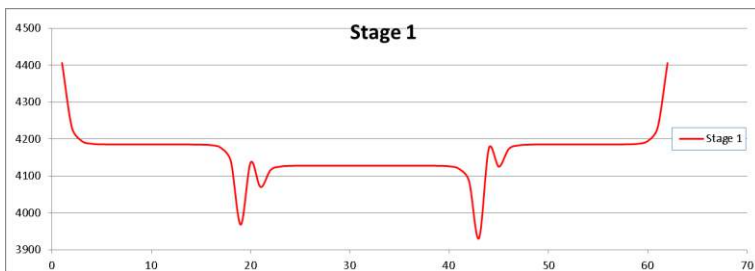
Berikut adalah reaksi dari perletakan pada masing-masing perancah:

Stage 1: Sesaat pasca pengecoran

Pada tahap ini struktur belum mendapat perkuatan external dari kabel penggantung atau pun dari kabel prategang. Sehingga gaya yang diterima oleh perletakan perancah murni dari berat sendiri.



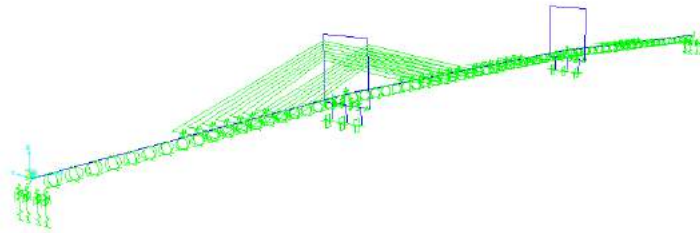
Gambar 4.105 Kondisi struktur pada saat stage 1.



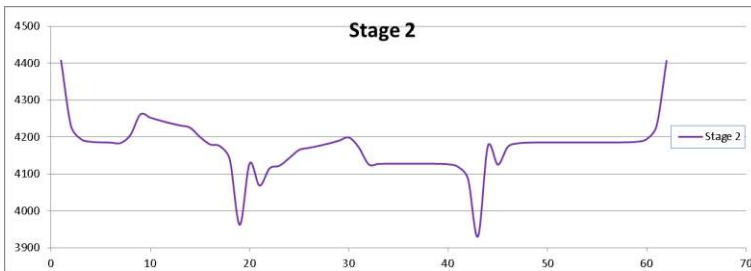
Gambar 4.106 Kondisi Gaya pada Reaksi Perletakan Perancah pada Saat Stage 1.

Stage 2: Pemasangan kabel penggantung I

Pada tahap ini reaksi perletakan dilihat pada kondisi di mana kabel penggantung hanya di pasang pada satu sisi. Dalam melakukan jacking, angker hidup berada pada pilar sehingga akan mempermudah pengerjaan sedangkan untuk angker hidup yang berada pada pelat jembatan sengaja di matikan.



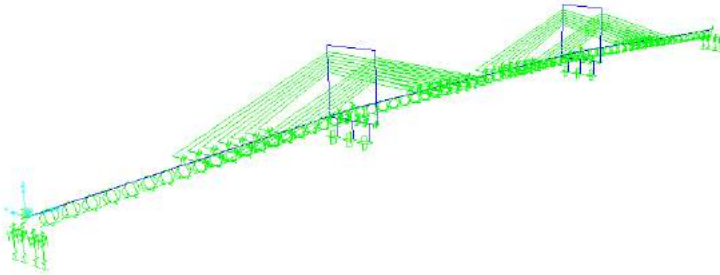
Gambar 4.107 Kondisi struktur pada saat stage 2.



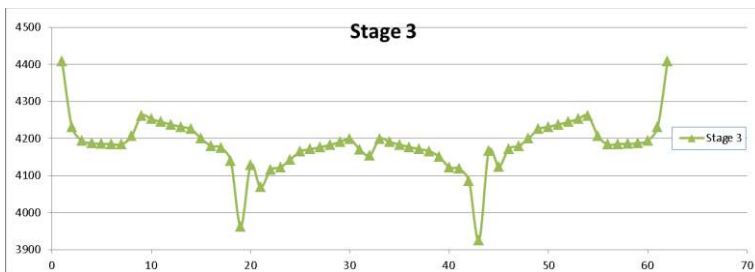
Gambar 4.108 Kondisi Gaya pada Reaksi Perletakan Perancah pada Saat Stage 2.

Stage 3: Pemasangan kabel penggantung II

Pada tahap ini reaksi perletakan dilihat pada kondisi di mana kabel penggantung telah terpasang pada kedua sisinya.



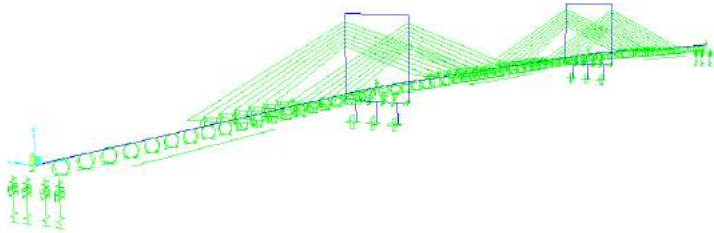
Gambar 4.109 Kondisi struktur pada saat stage 3.



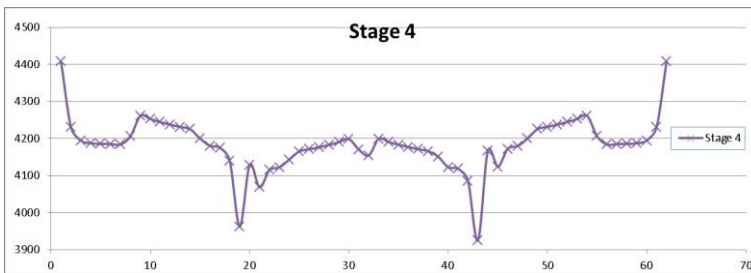
Gambar 4.110 Kondisi Gaya pada Reaksi Perletakan Perancah pada Saat Stage 3.

Stage 4: Pemasangan tendon prategang D dan E

Pada tahap ini kabel prategang di tengah bentang serta pada daerah pilar di pasang. Pemberian gaya prategang (jacking) dilakukan pada kedua sisi kabel untuk memperkecil kehilangan yang mungkin terjadi.



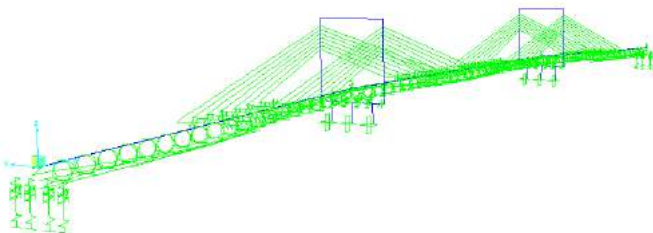
Gambar 4.111 Kondisi struktur pada saat stage 4.



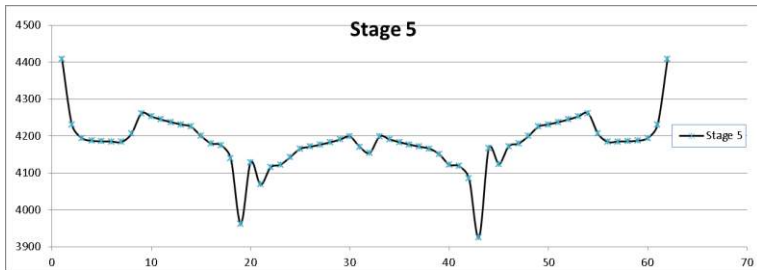
Gambar 4.112 Kondisi Gaya pada Reaksi Perletakan Perancah pada Saat Stage 4.

Stage 5: Pemasangan tendon prategang A, B, dan C

Pada tahap ini reaksi perletakan pada perancah dianalisa ketika semua kabel prategang telah terpasang. Pemberian gaya prategang (jacking) pada tahap ini juga dilakukan pada kedua sisi kabel untuk memperkecil kehilangan yang mungkin terjadi.



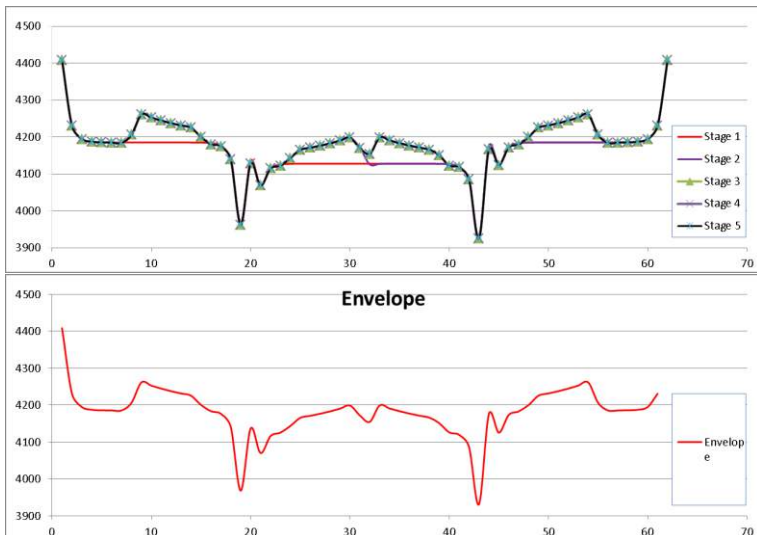
Gambar 4.113 Kondisi struktur pada saat stage 5.



Gambar 4.114 Kondisi Gaya pada Reaksi Perletakan Perancah pada Saat Stage 5.

Envelope nilai

Berikut adalah gambar dari envelope pada reaksi perletakan pada perancah yang ditunjukkan pada gambar 4.113.



Gambar 4.115 Kondisi struktur pada saat stage 1.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

**BAB V
PENUTUP**

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari perhitungan pada BAB IV dapat disimpulkan beberapa kesimpulan seperti berikut:

1. Efektifitas dari extradosed pada bentang tengah dengan meninjau envelope Kombinasi daya layan adalah 46,17%
2. Berdasarkan analisa vortex shedding Perencanaan flyover Ciwanda termasuk kategori “Acceptable” sehingga layak untuk dibangun.
3. Perencanaan flyover Ciwanda aman dari efek flutter yang mungkin ditimbulkan oleh beban angin dinamis.
4. Dalam perencanaan digunakan kabel prategang dengan unit kabel 6-55 dengan gaya jacking seragam yaitu 11.712 kN.
5. Total jumlah kabel prategang yang digunakan adalah 74 tendon.
6. Dalam perencanaan digunakan kabel penggantung tipe VSL SSI 2000-D dengan kabel unit 6-31.
7. Perencanaan flyover Ciwanda aman ketika terjadi kondisi khusus dimana satu kabel penggantung pada tengah bentang putus akibat kondisi diluar dugaan atau pun akibat faktor perawatan.

5.2. Saran

Hal-hal yang dapat disarankan dari perencanaan flyover Ciwanda ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam perhitungan berikutnya ada beberapa komponen yang perlu dicek secara finiti elemen.
2. Perlu pendetailan dalam stage analysis sehingga proses konstruksi flyover ini dapat diterapkan dengan aman.
3. Perlu diperhatikannya cara untuk mengefektifitaskan nilai efektifas dari extradosed sehingga biaya dan pelaksanaan dalam perencanaan dapat dipermudah.

4. Perlu adanya tambahan pengecekan terhadap kasus-kasus tak terduga.
5. Perlu juga adanya pengecekan envelope pada kasus-kasus kabel penggantung selain di tengah bentang.



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

DAFTAR PUSTAKA

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017

DAFTAR PUSTAKA

- Swanson, J., & Miller, R. (2007). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. The University of Cincinnati.
- Benjumea, J., Chio, G., & Maldonado, E. (2010). Comportamiento estructural y criterios de diseño de los puentes. *Revista Ingeniería de Construcción* Vol. 25.
- BSN. (2013). *RSNI 2833: 201X Perancangan jembatan terhadap beban gempa*. Badan Standar Nasional.
- Gimsing, N. J. (1983). *Cable Supported Bridges: Concepts and Design*. London: Wiley-Blackwell .
- Habieb, A. (2014). Modifikasi Jembatan Lemah Ireng-1 Ruas Tol Semarang-Bawean dengan Girder Pratekan Menerus Parsial. *JURNAL TEKNIK POMITS 1*, 1-6.
- Hidayat , I. (2011). *Analisa Konstruksi Jembatan Cable Stayed Menggunakan Metode Kantilever (Studi Kasus Jembatan Suramadu)*. Jakarta .
- Indonesia, S. N. (2005). *RSNI T-02 2005 Pembebanan untuk Jembatan*. Standar Nasional Indonesia.
- Irawan, R., Trisanto, L., & Virlanda, T. (2011). *Perencanaan Teknis Jembatan Cable Stay*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Martin, L., & Perry, C. (2004). *PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete, Sixth Edition*. Chicago: Precast/Prestressed Concrete Institute.
- Mermigas, K. K. (2008). *Behaviour and Design of Extradosed Bridge*. Toronto: University of Toronto.
- Nasional, B. S. (2004). *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (SNI T-12-2004)*. Jakarta: BSNI.
- Nasional, B. S. (2016). *Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725 2016)*. Jakarta: BSNI.
- Rakyat, K. P. (2015). *Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan*. Jakarta.

- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- T. Y. Lin, Burns, N. H., & Indrawan, D. (1996). *Desain struktur beton prategang jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Walther , R., & Houriet , B. (1988). *Cable Stayed Bridges*. London: Thomas Telford.



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

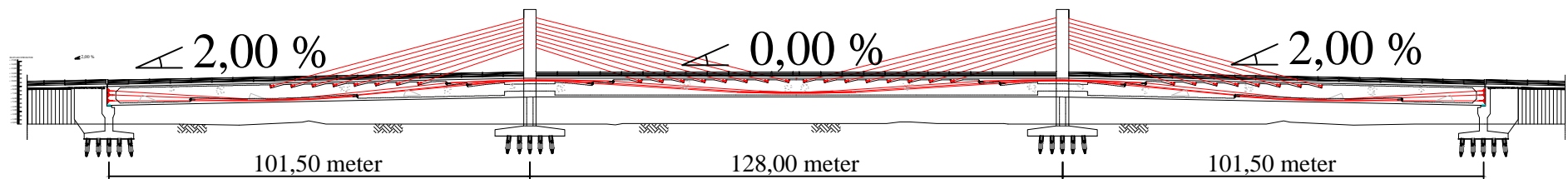
LAMPIRAN I

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

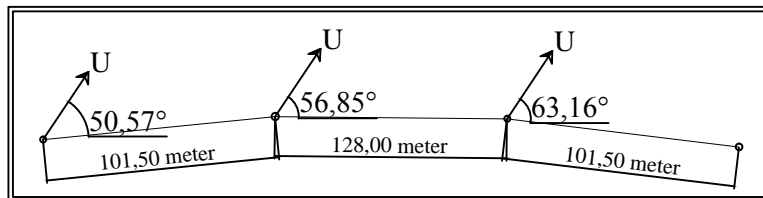
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017



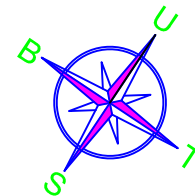
Tampak Samping Flyover Ciwanda
Skala 1 : 1500



Tampak Atas Flyover Ciwanda
Skala 1 : 1500



SUDUT ARAH HORIZONTAL FLYOVER



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
Indra Kusuma Jati Raj Suweda
NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:
Tampak Samping dan Atas
Skala: 1 : 1500

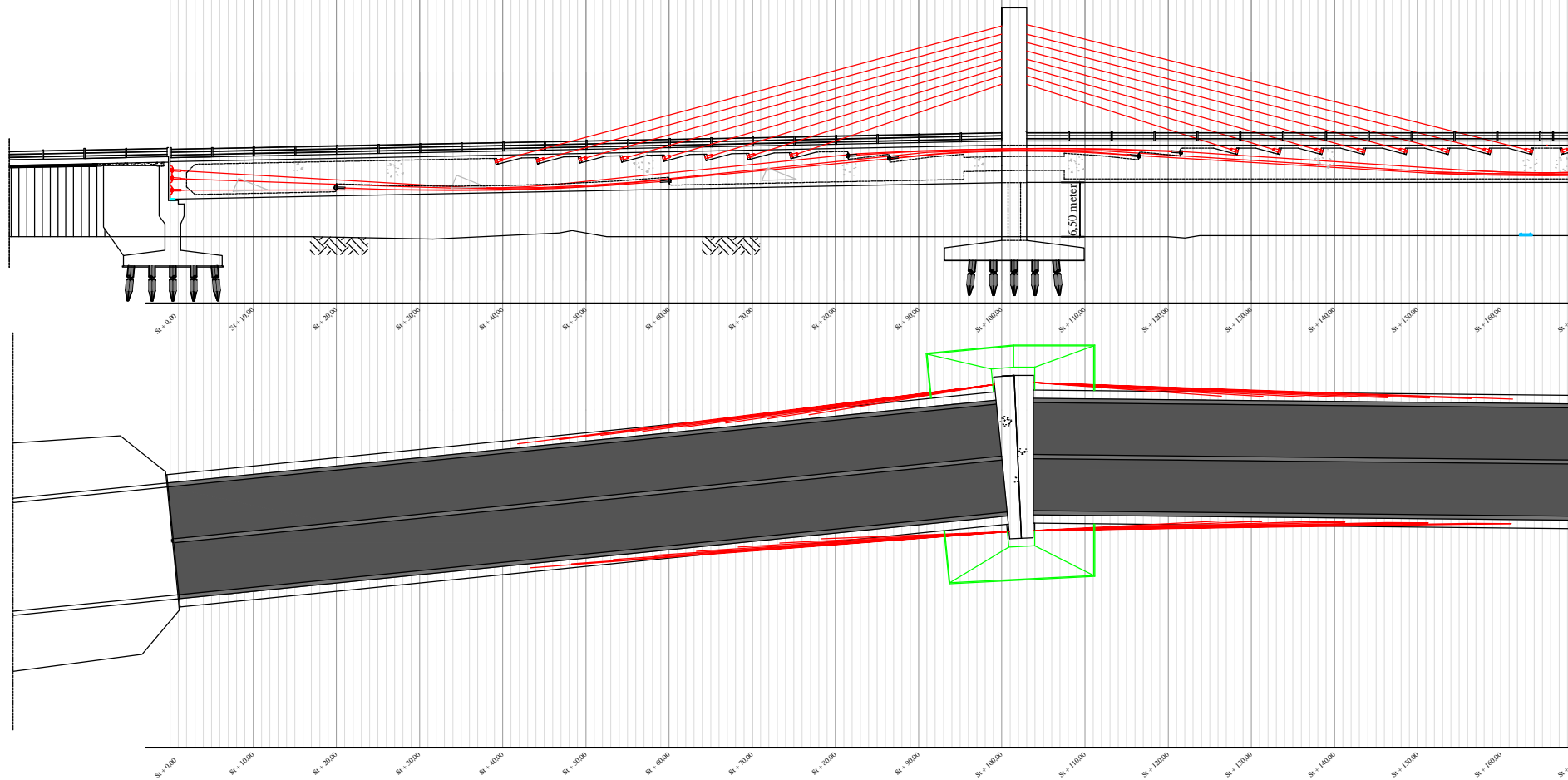
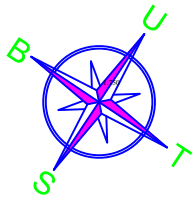
Halaman

1

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:

Indra Kusuma Jati Raj Suweda
NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:

Detail tampak bagian awal
Skala: 1 : 750

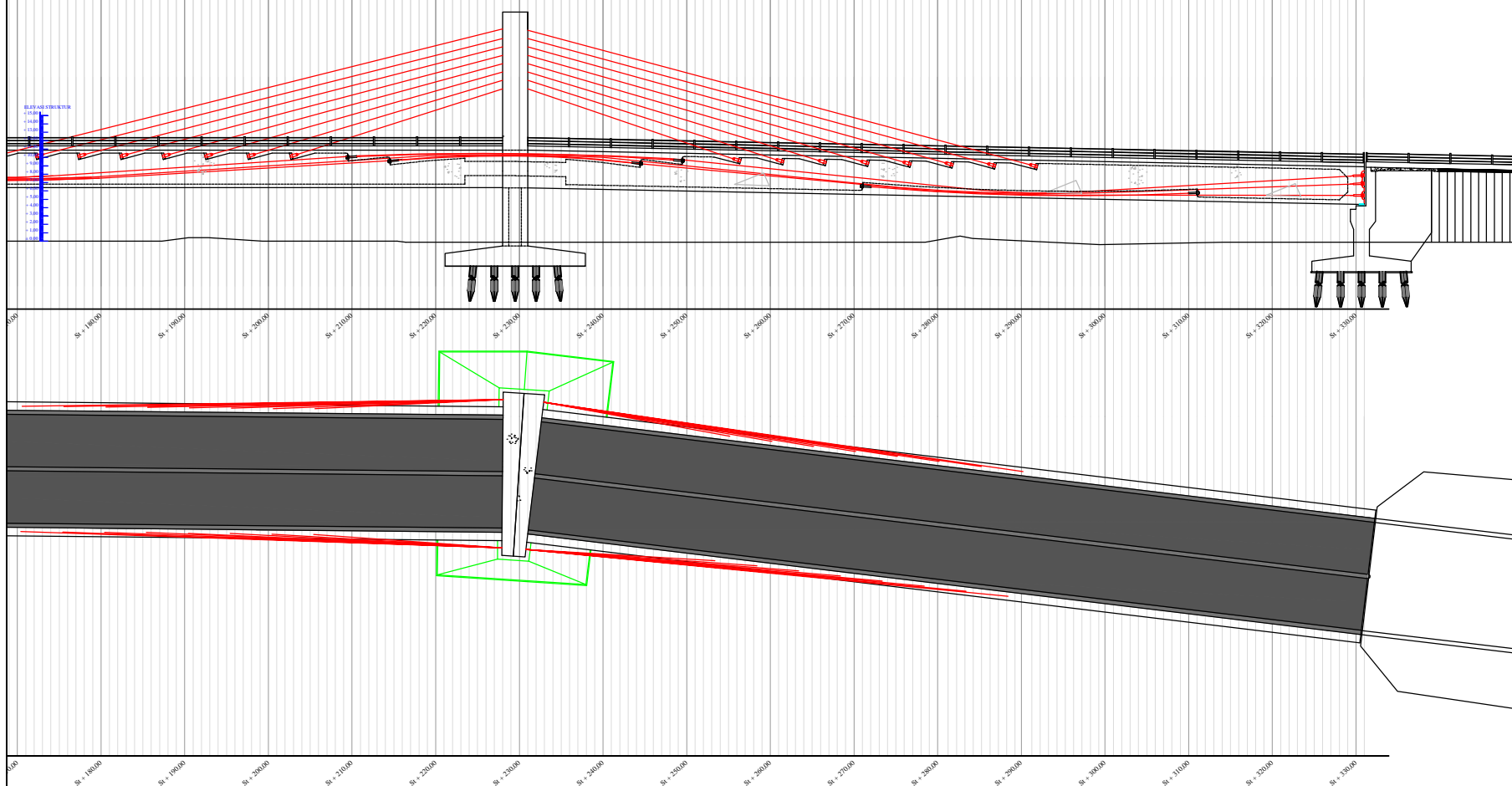
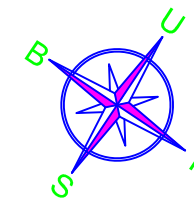
Halaman

2

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:
 Detail tampak bagian akhir
 Skala: 1 : 750

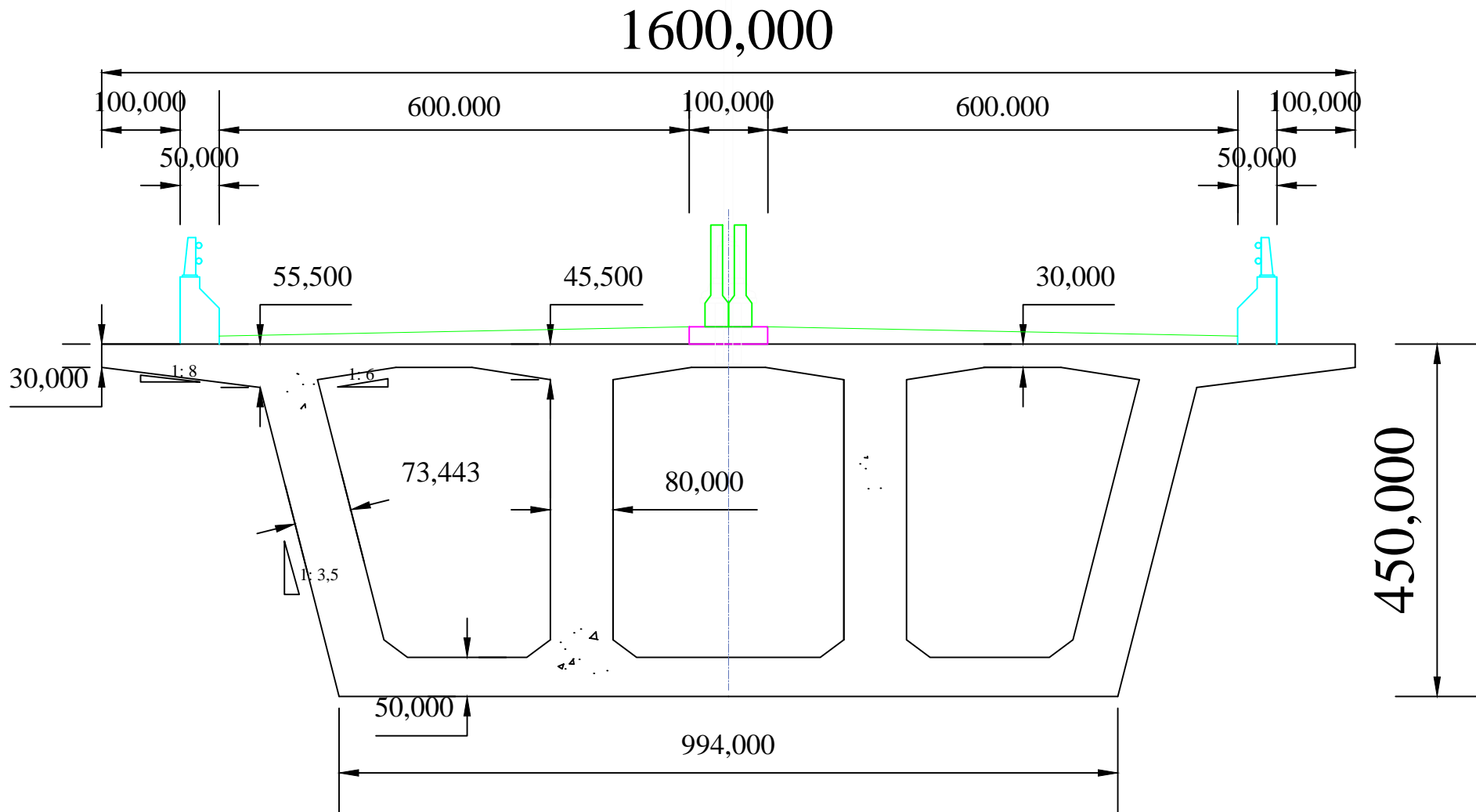
Halaman

3

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:

Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:

Detail dimensi penampang
 Skala: 1 : 75

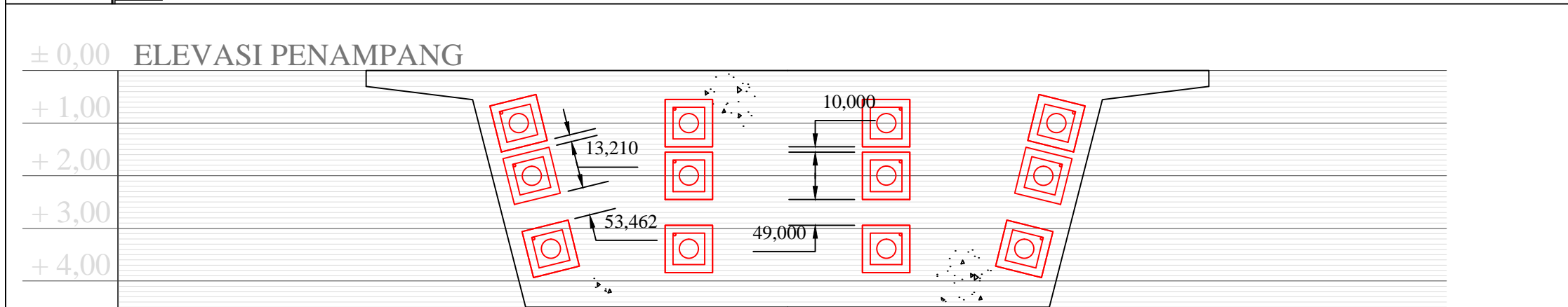
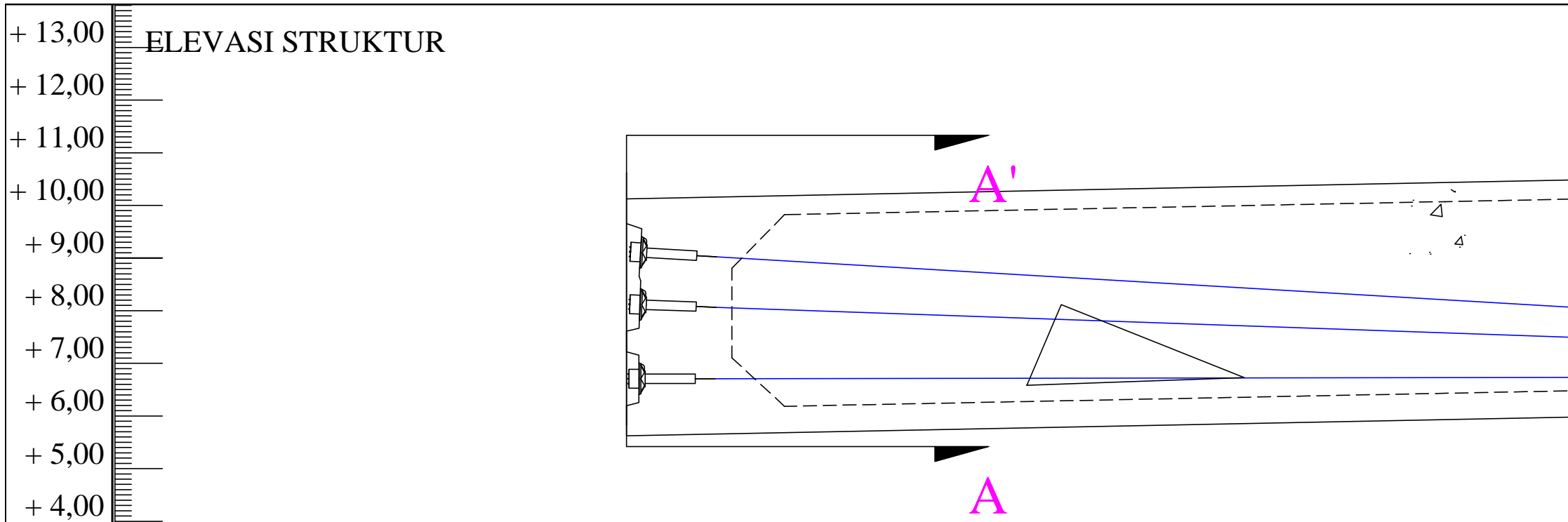
Halaman

4

Jumlah

20

Keterangan:



Potongan pada: St + 0,00



TUGAS AKHIR - RC14-1501
MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
Indra Kusuma Jati Raj Suweda
NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:
Detail potongan pada st +0,00
Skala: 1 : 100

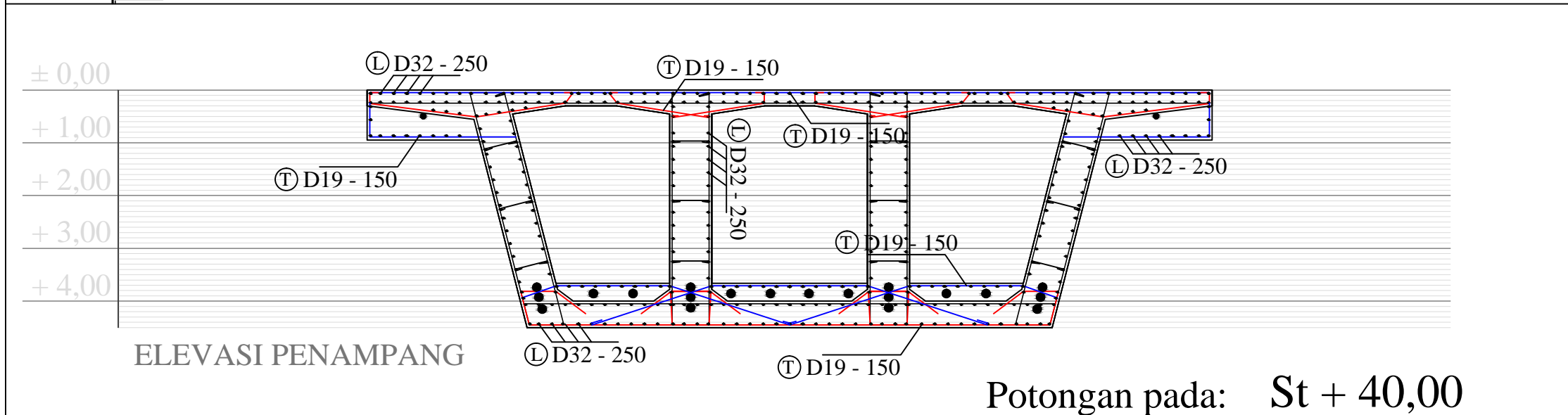
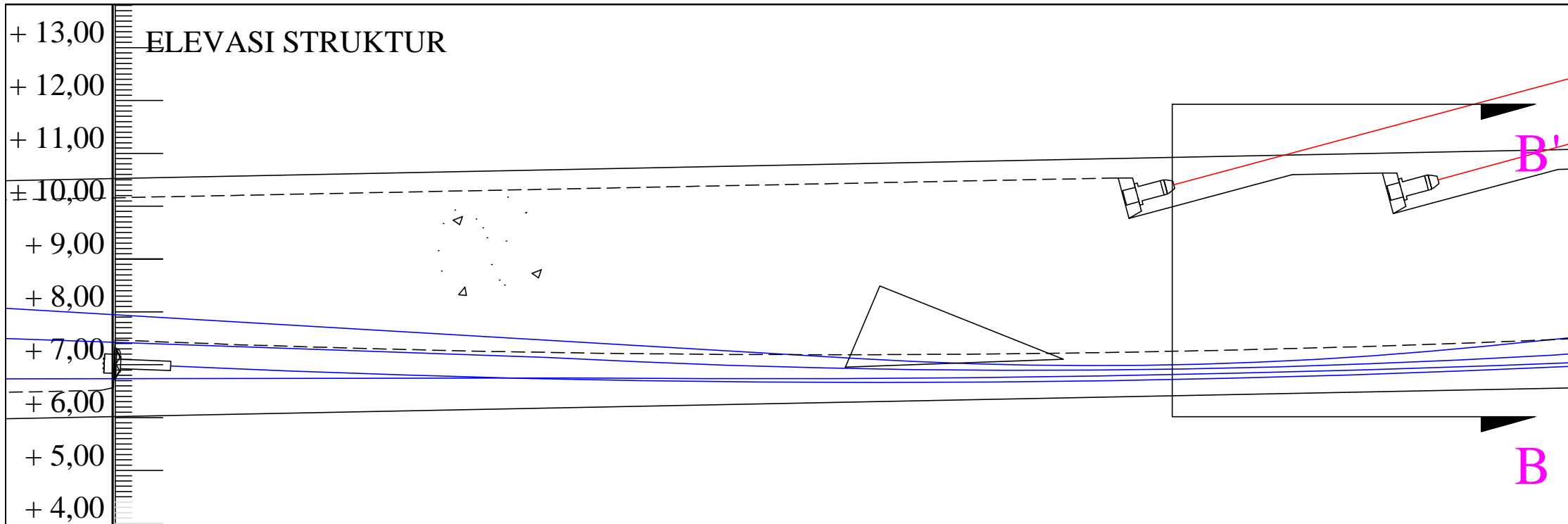
Halaman

5

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:
 Detail potongan pada st +40,00
 Skala: 1 : 100

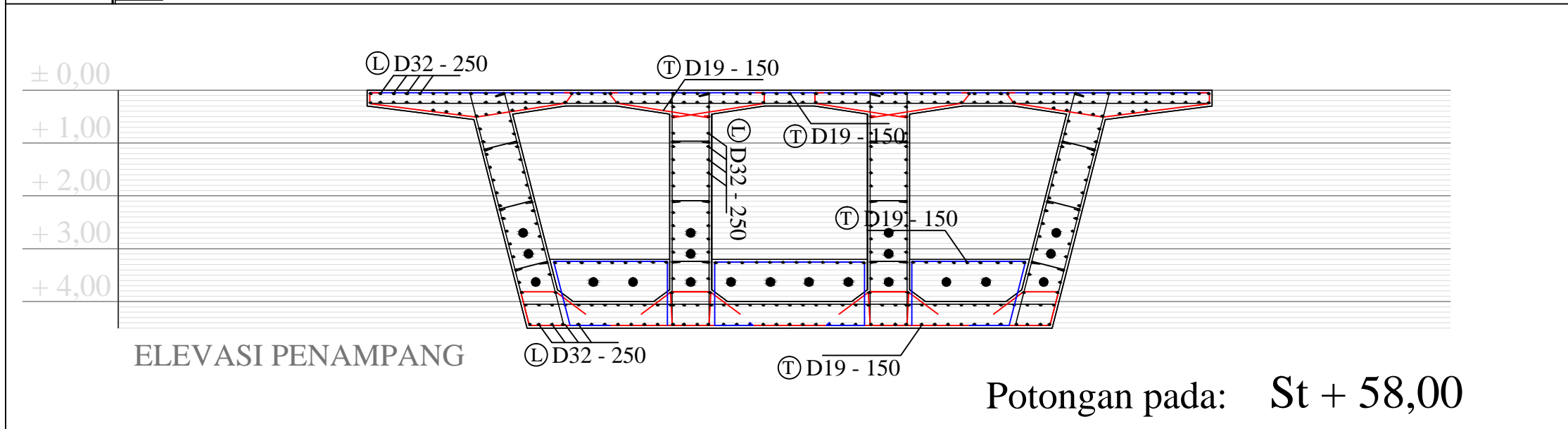
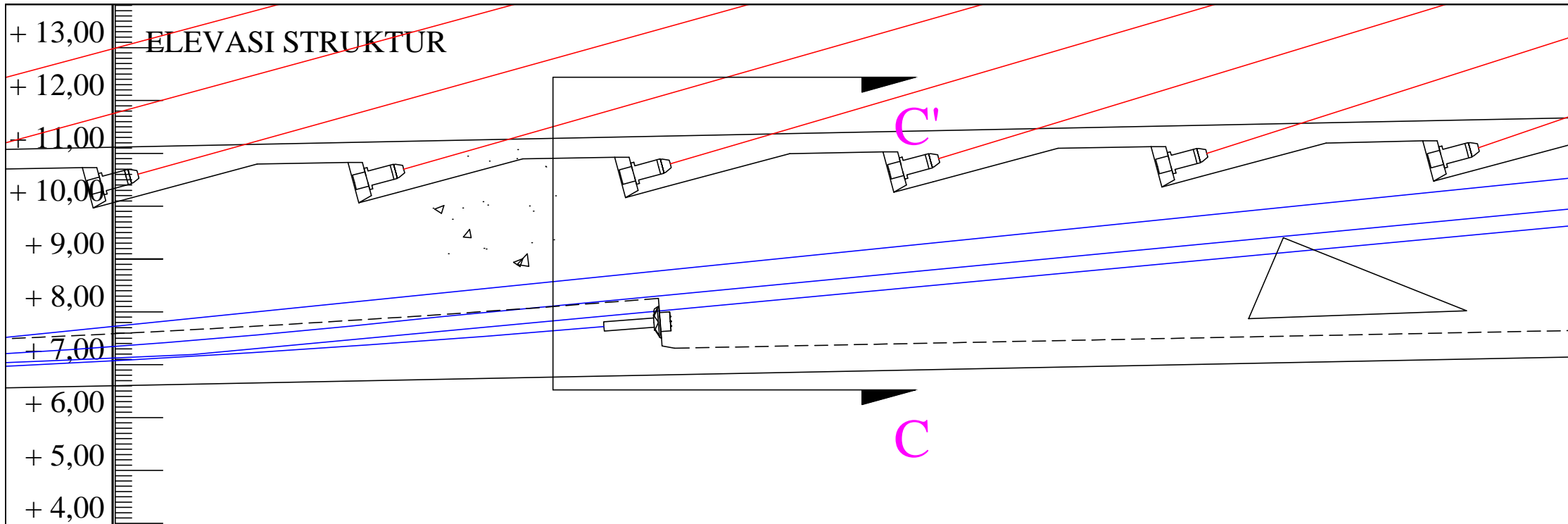
Halaman

6

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:
 Detail potongan pada st +58,00
 Skala:

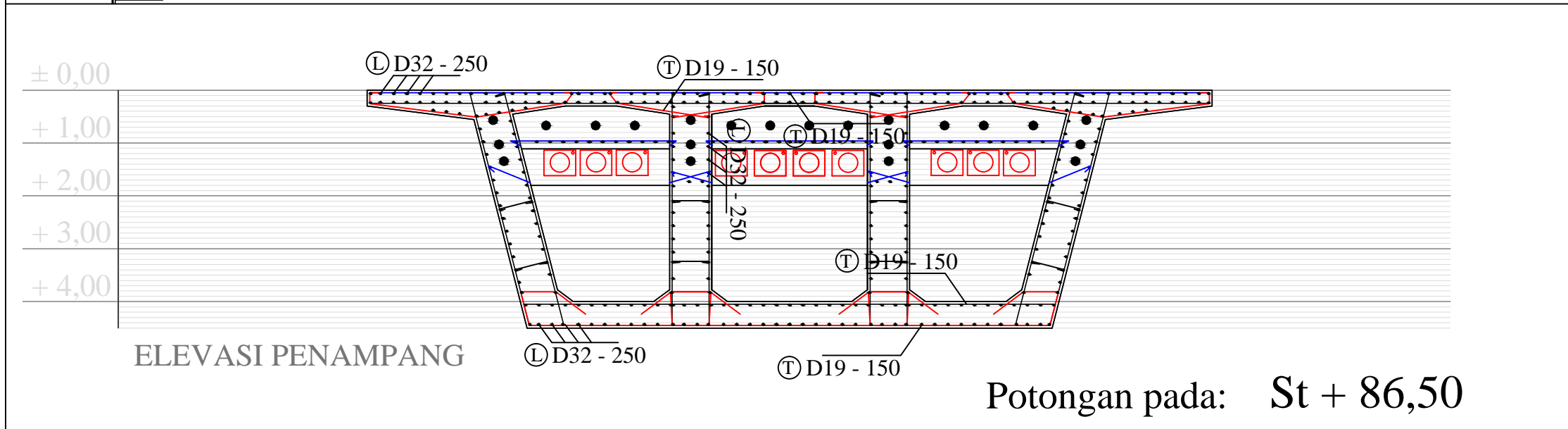
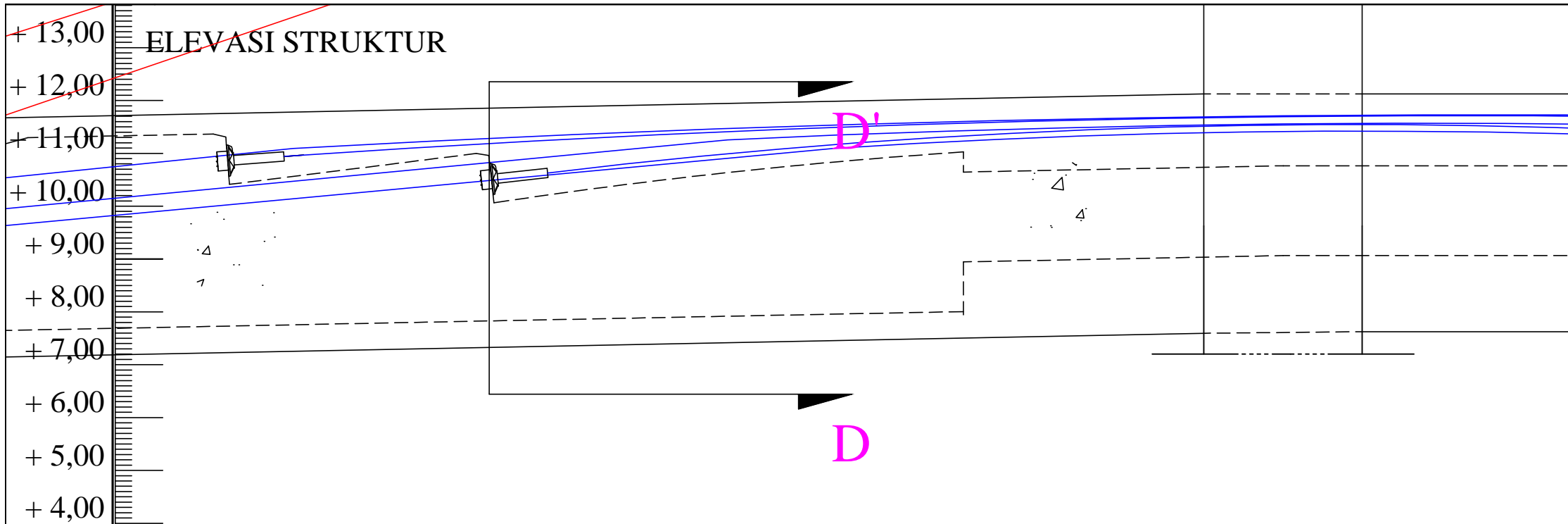
Halaman

7

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:
 Detail potongan pada st +86,50
 Skala: 1 : 100

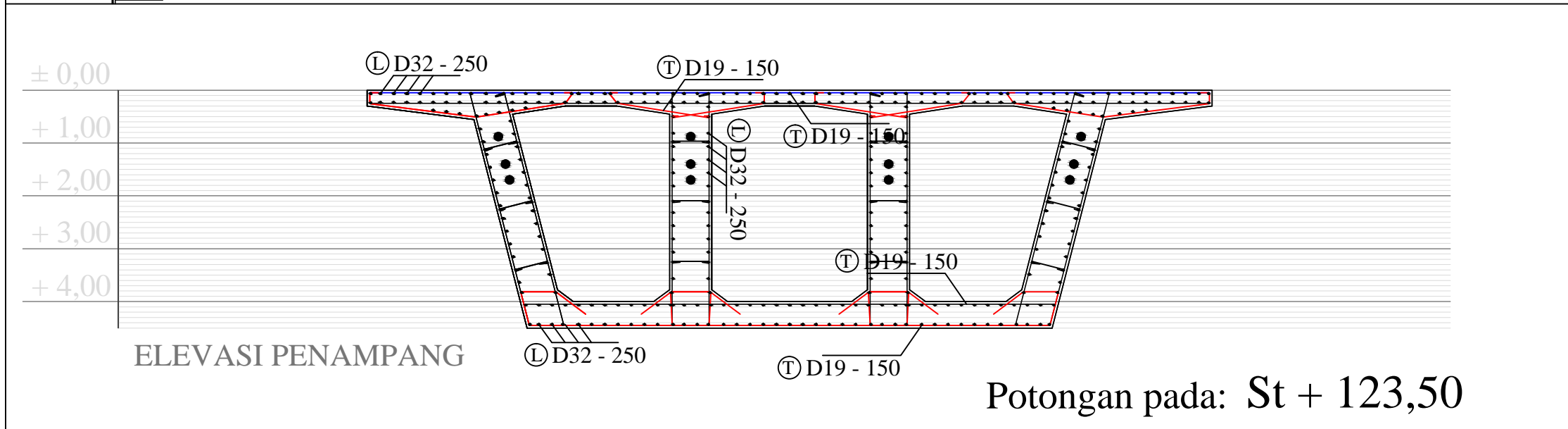
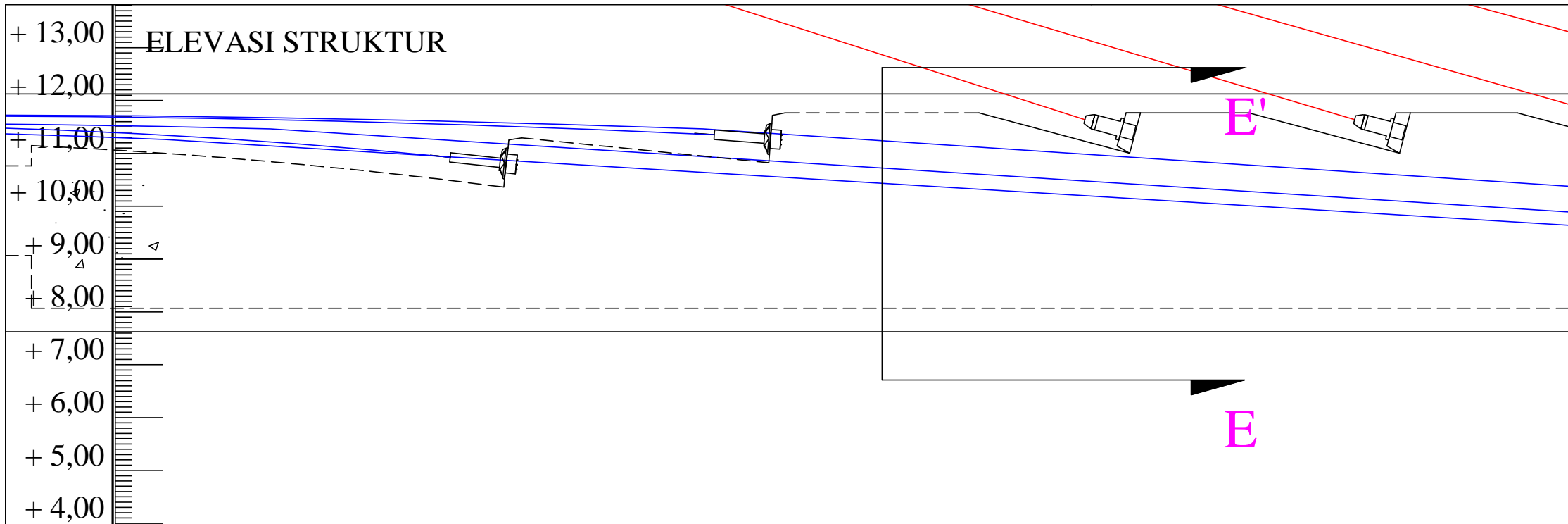
Halaman

8

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:
 Detail potongan pada st +123,50
 Skala:

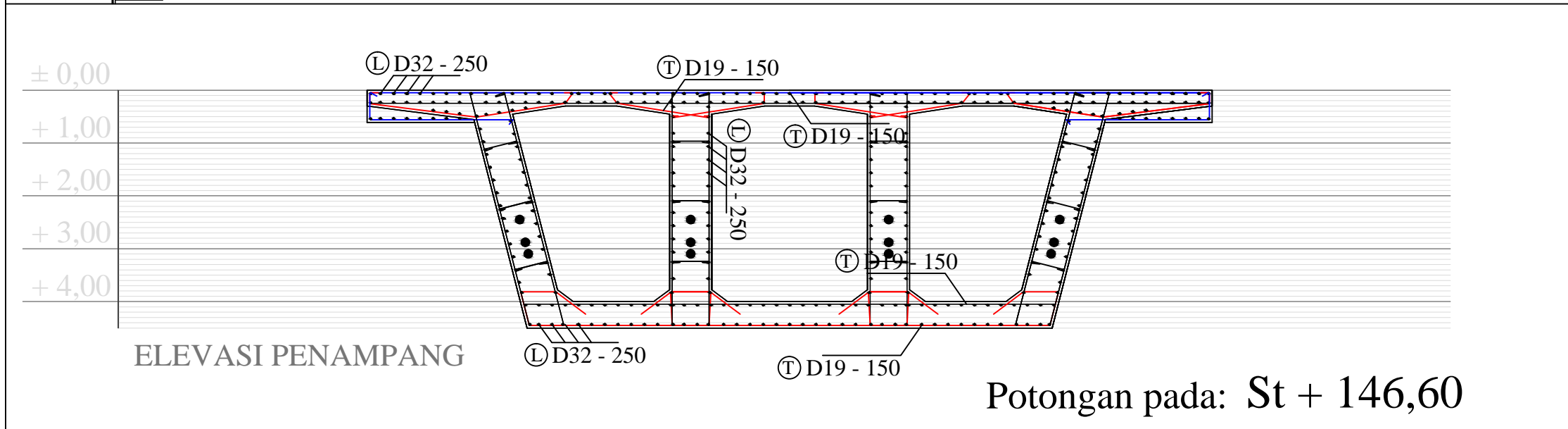
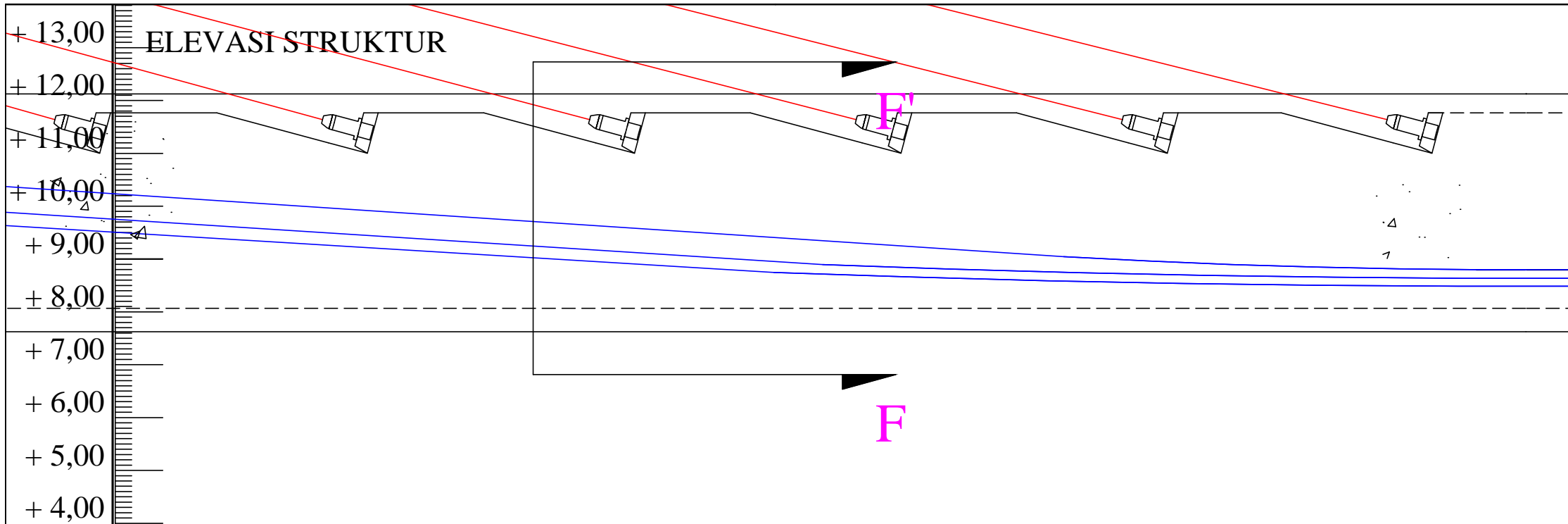
Halaman

9

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:

Detail potongan pada st +146,60
 Skala: 1 : 100

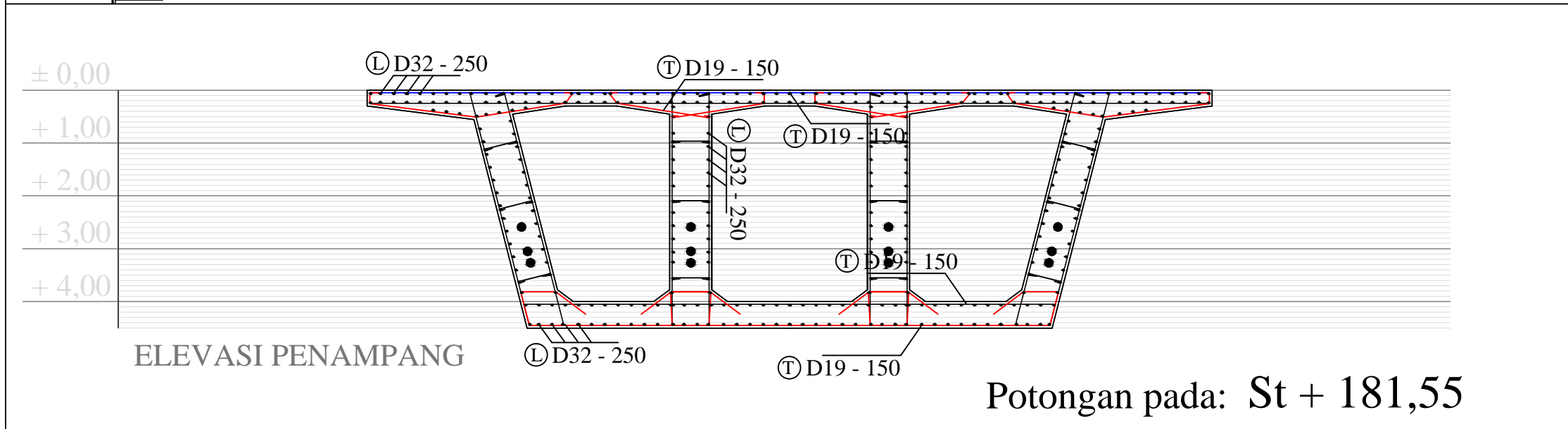
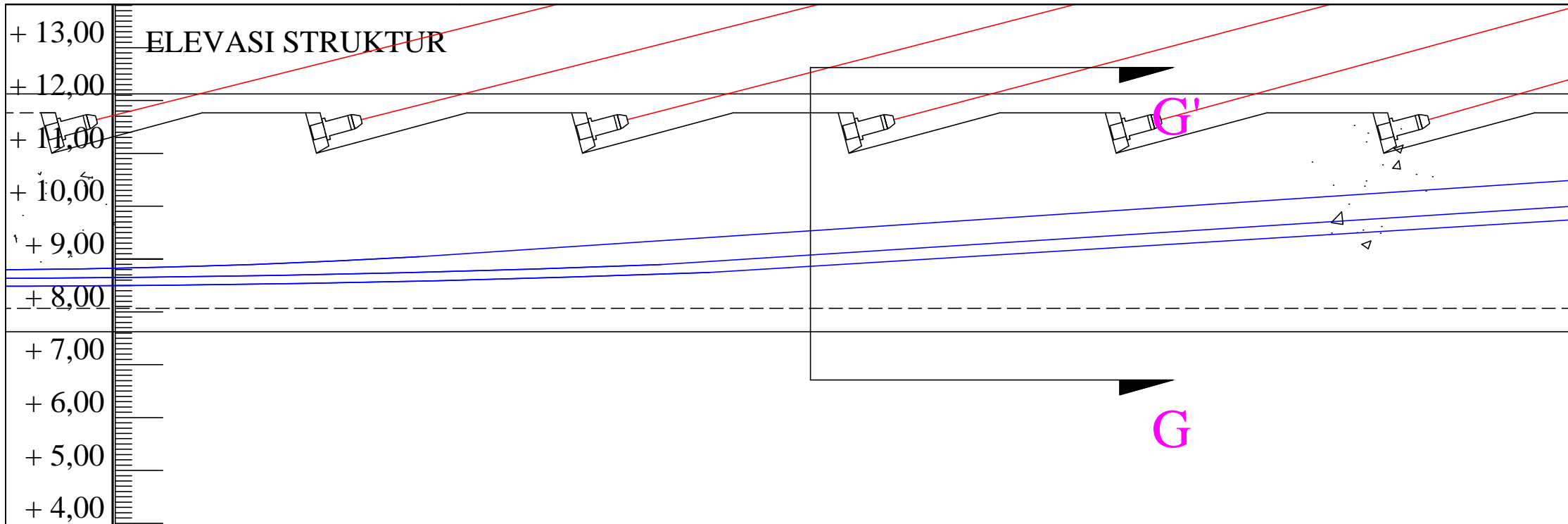
Halaman

10

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:

Detail potongan pada st +181,55
 Skala: 1 : 100

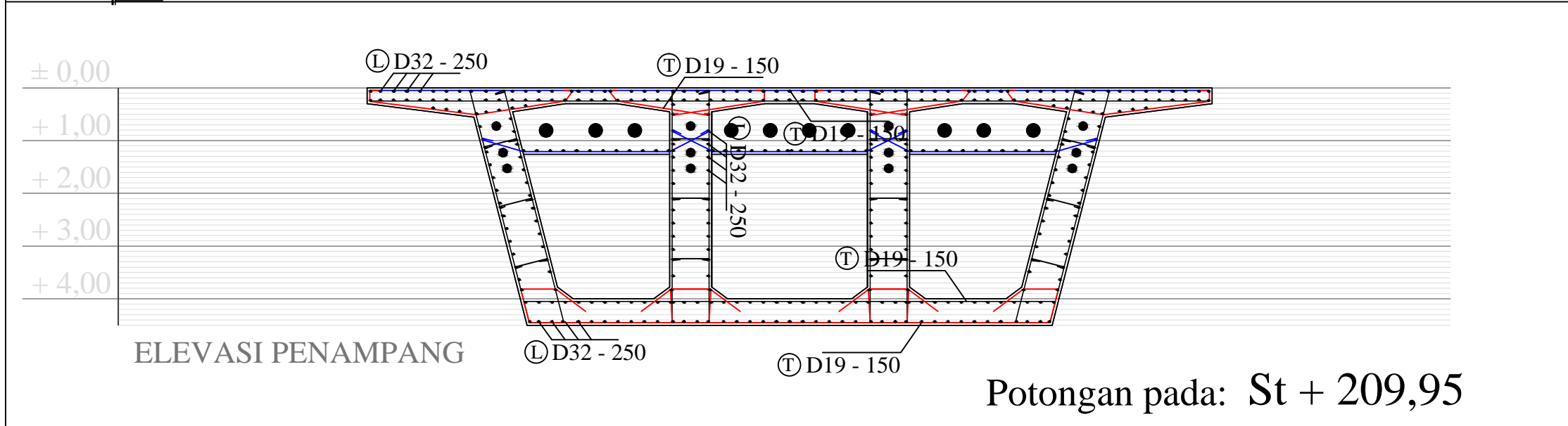
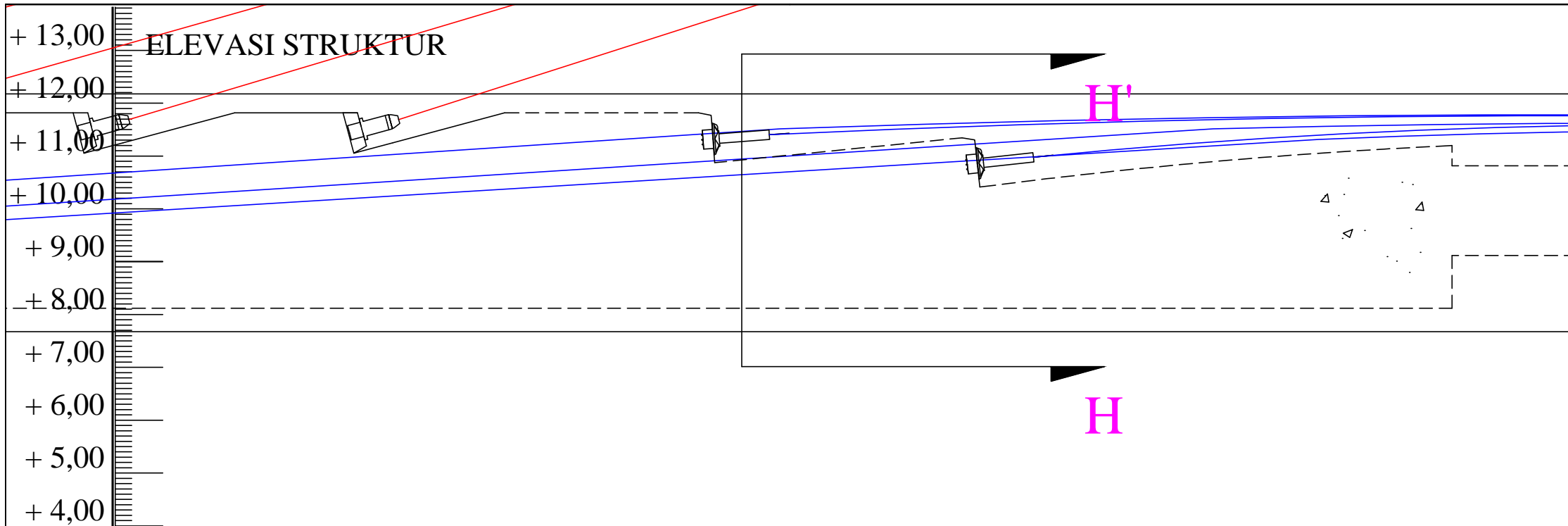
Halaman

11

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:
 Detail potongan pada st +209,95
 Skala: 1 : 100

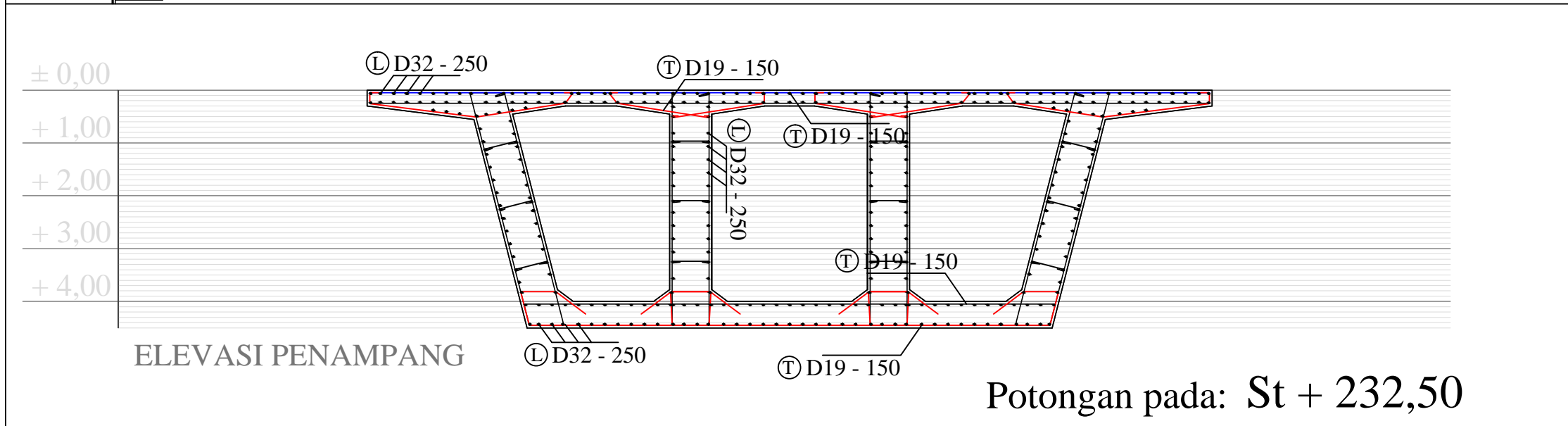
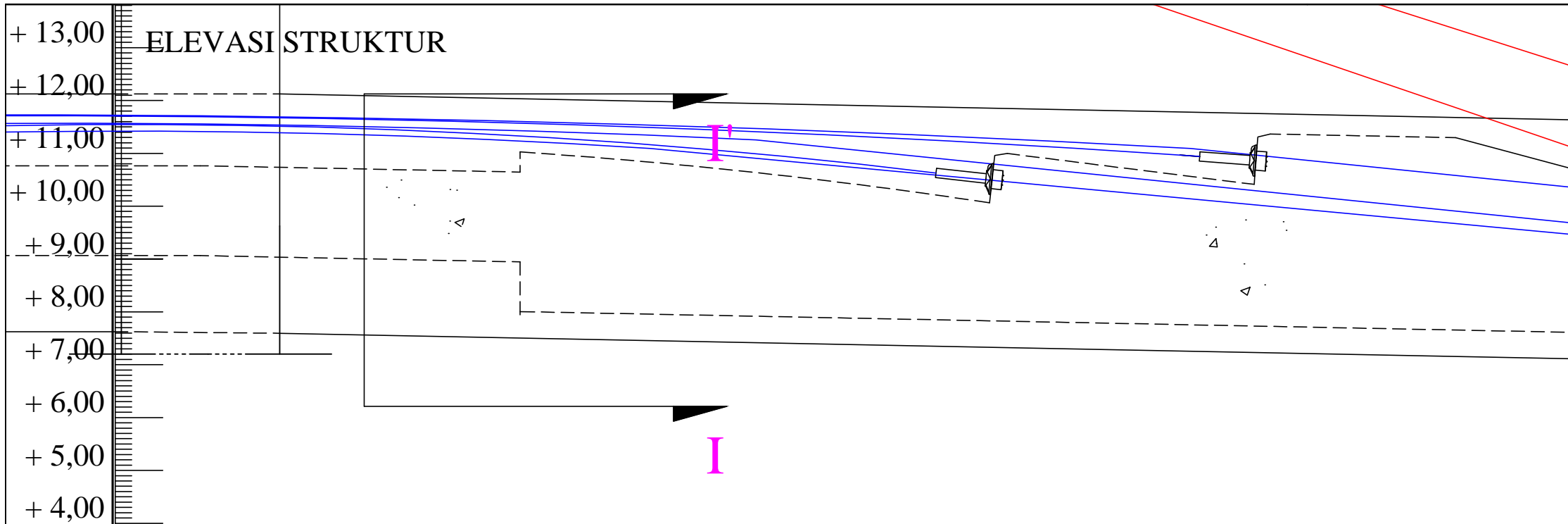
Halaman

12

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:

Detail potongan pada st +232,50
 Skala: 1 : 100

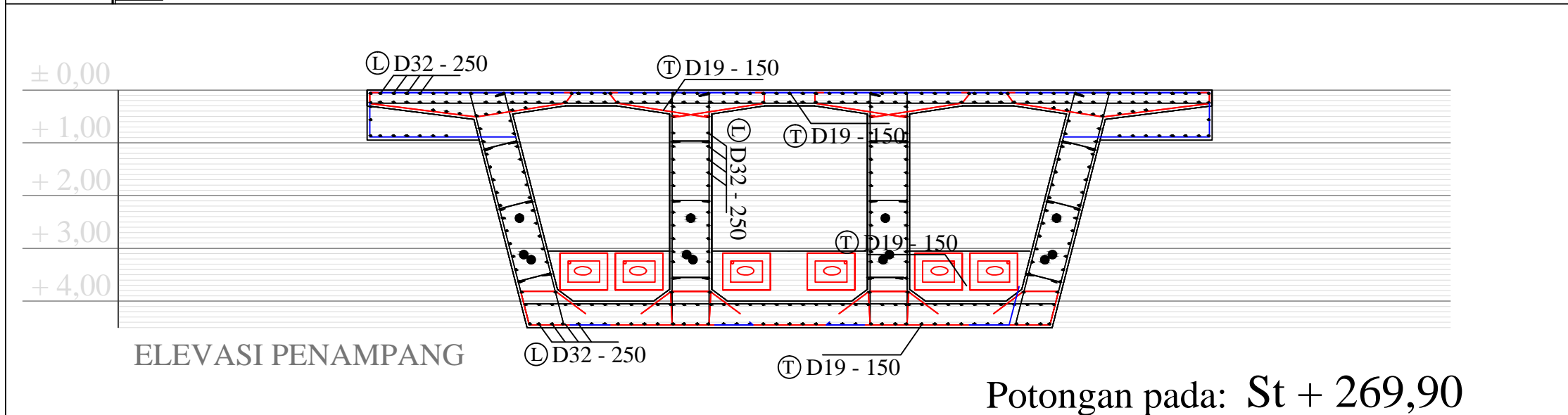
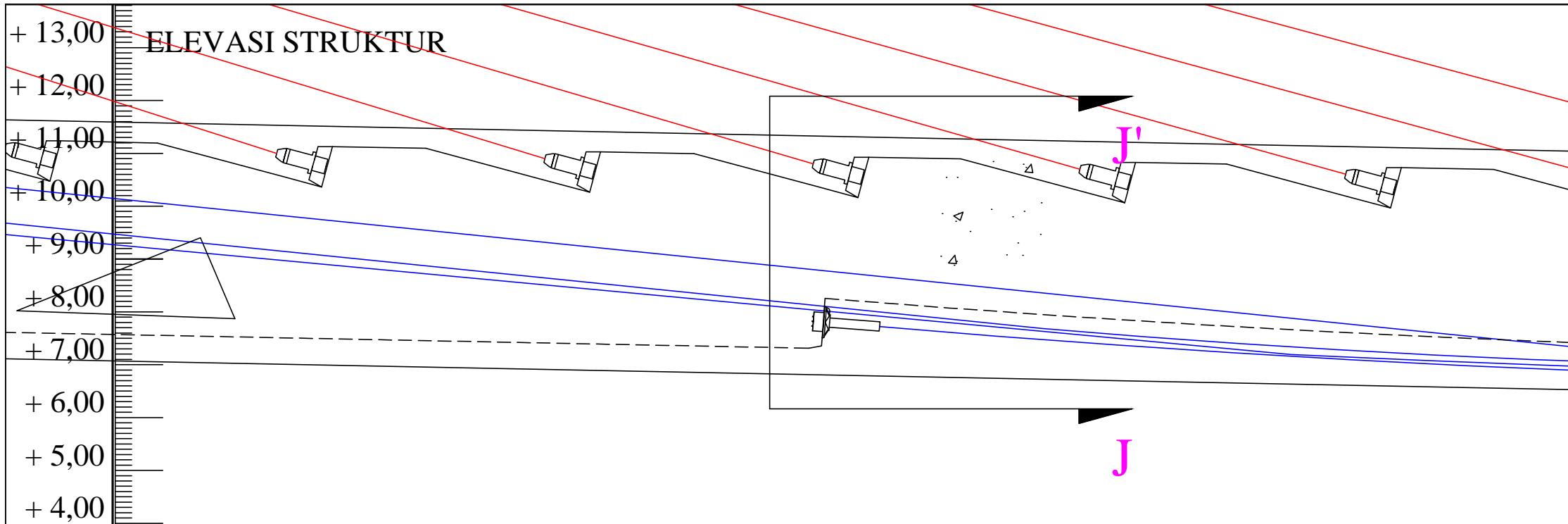
Halaman

13

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:

Detail potongan pada st +269,90
 Skala: 1 : 100

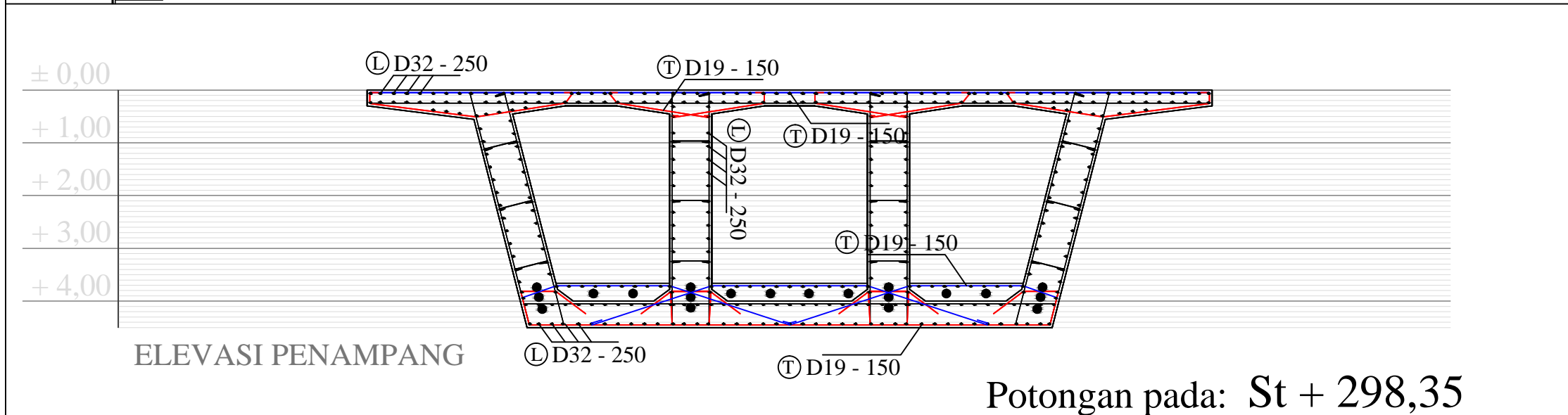
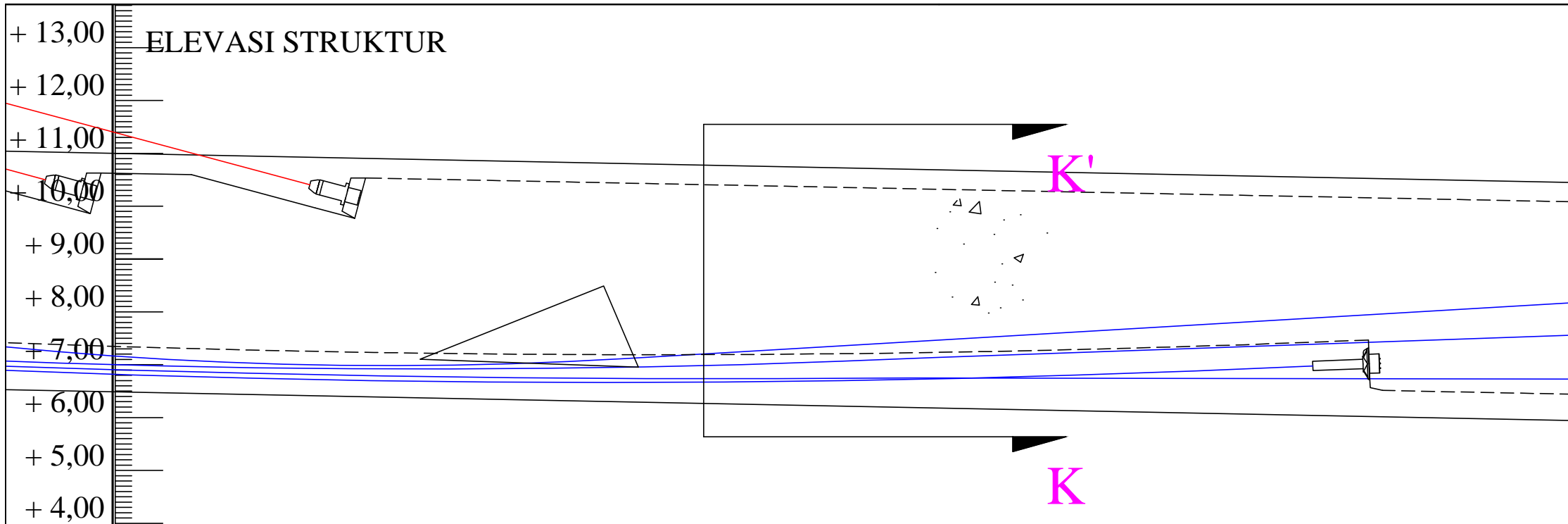
Halaman

14

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:

Detail potongan pada st +298,35
 Skala: 1 : 100

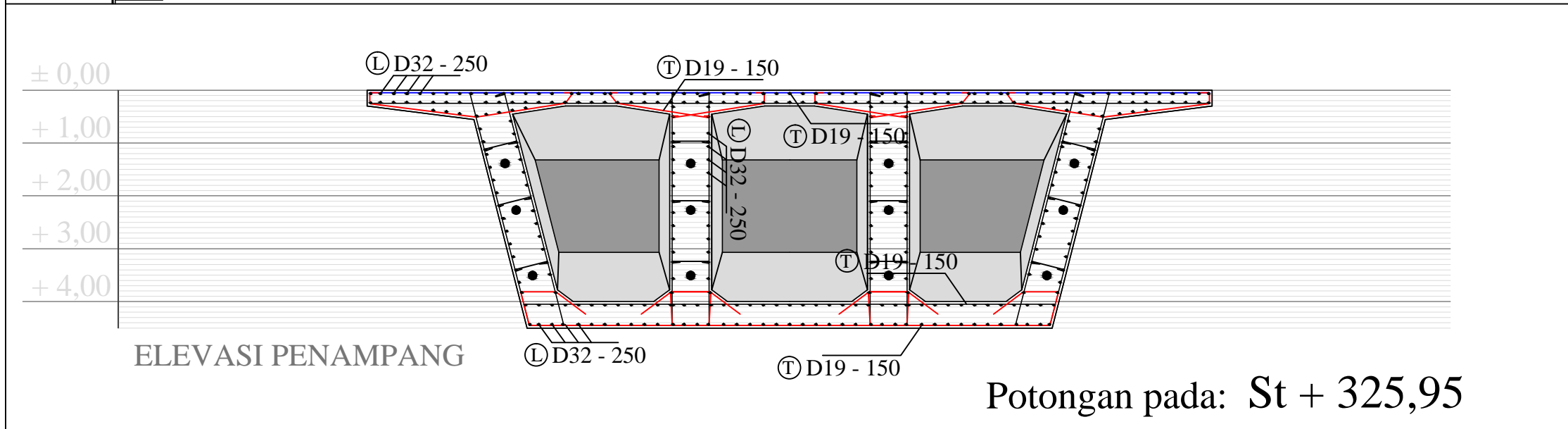
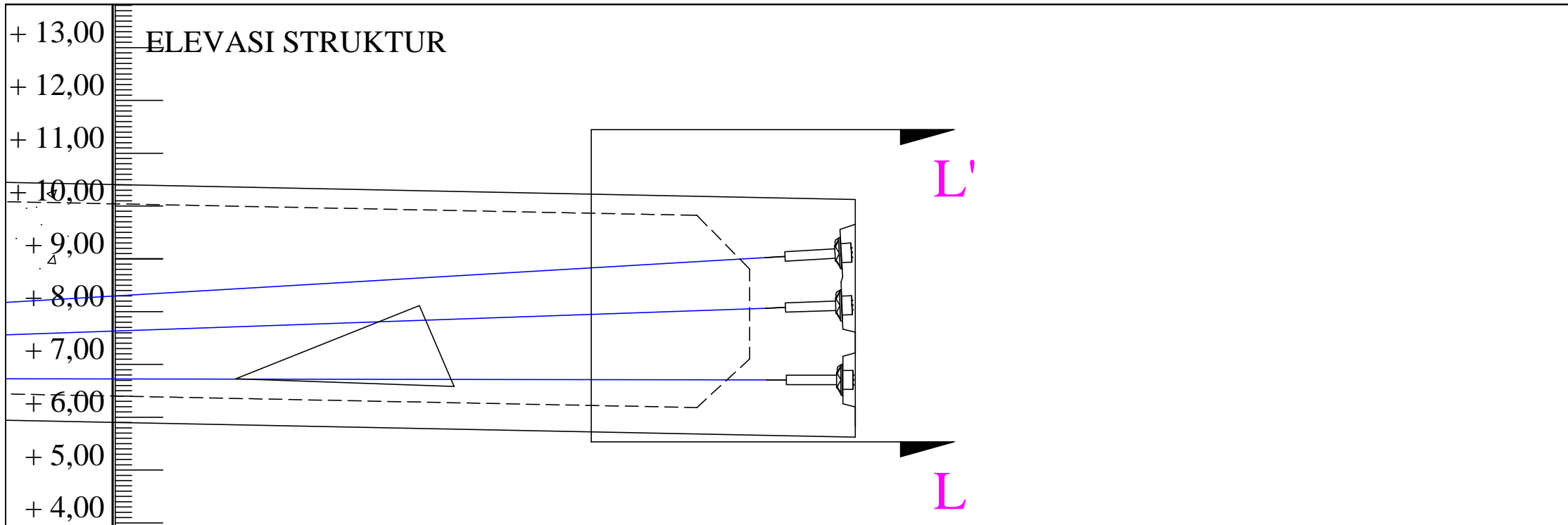
Halaman

15

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
 MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
 Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
 Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
 Indra Kusuma Jati Raj Suweda
 NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:

Detail potongan pada st +325,95
 Skala:

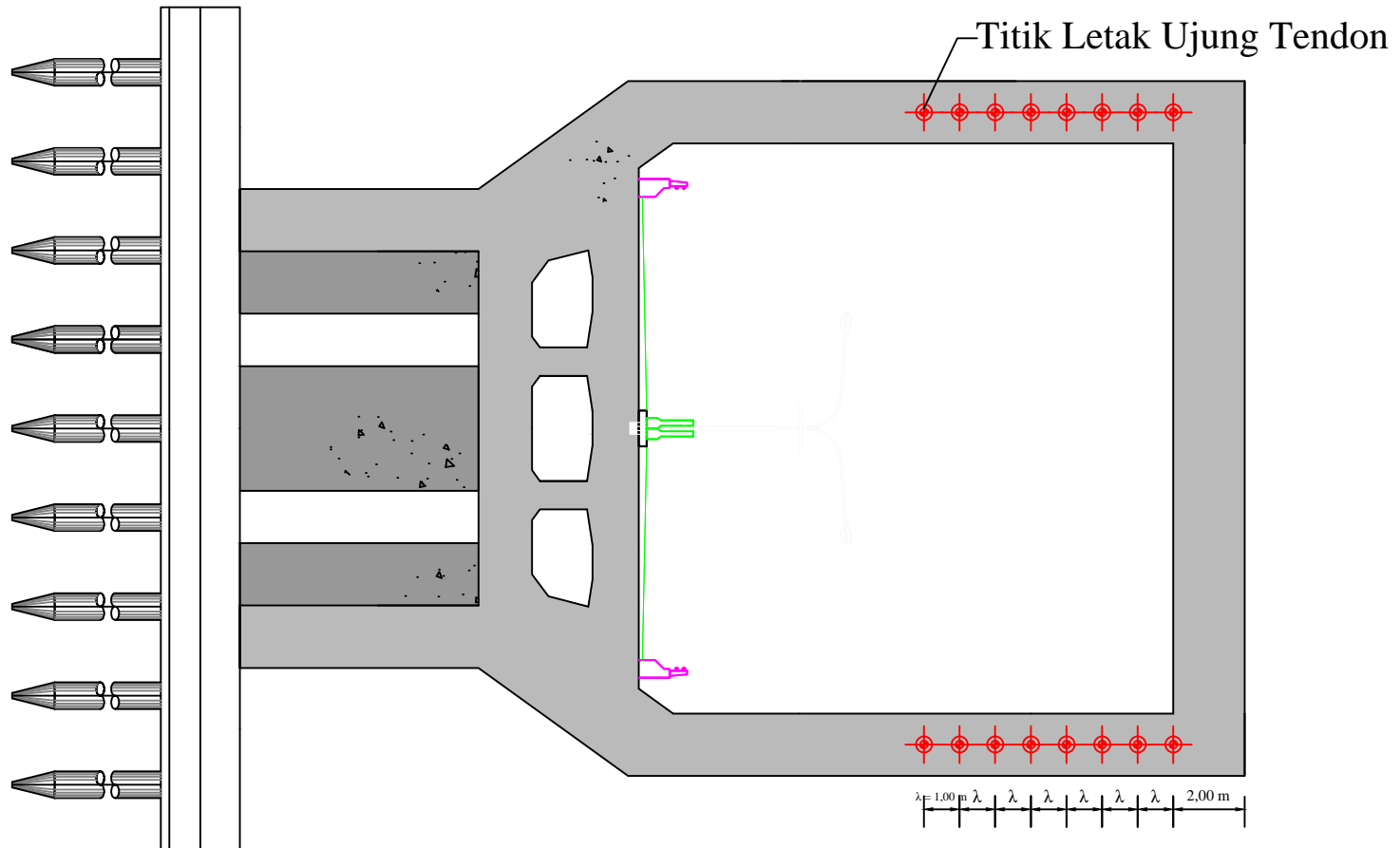
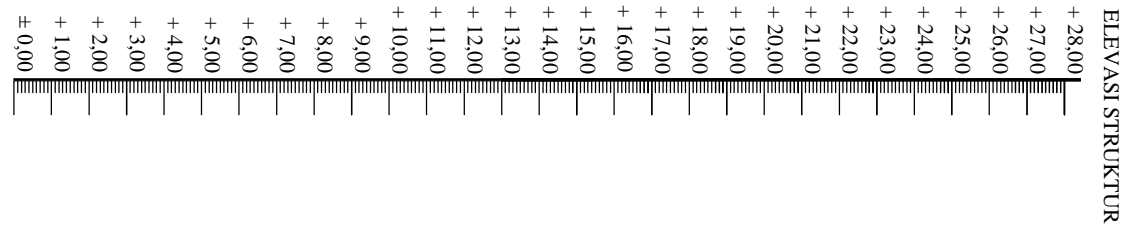
Halaman

16

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR - RC14-1501
MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
Indra Kusuma Jati Raj Suweda
NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:
Tampak pilon dan posisi ujung tendon
Skala: 1 : 200

Halaman

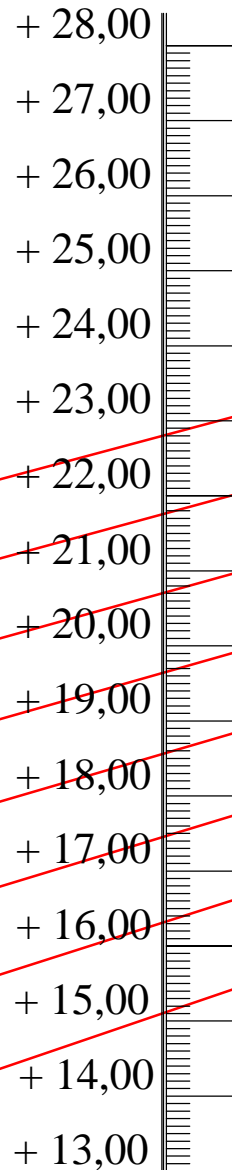
17

Jumlah

20

Keterangan:

ELEVASI STRUKTUR



300,000

VSL SSI 2000-D Cable Unit 6 - 31

Skala 1:20

14,05°

36,23°

Detail ukuran pada : Gambar 20



TUGAS AKHIR - RC14-1501
MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :

Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:

Indra Kusuma Jati Raj Suweda
NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:

Detail angkor pada pylon
Skala: 1 : 100

Halaman

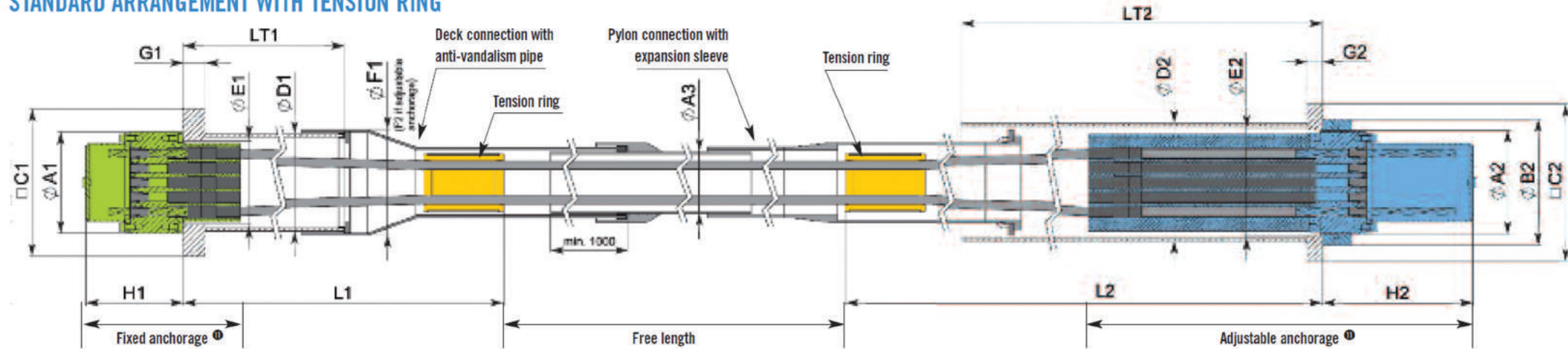
19

Jumlah

20

Keterangan:

STANDARD ARRANGEMENT WITH TENSION RING



CABLE UNIT	NUMBER OF STRANDS	STAY			STAY PIPE			FIXED ANCHORAGE								ADJUSTABLE ANCHORAGE								DEVIATED LENGTH		STANDARD ARRANGEMENT				ALTERNAT.	OPTIONAL DETAILS		
		BREAKING LOAD AT 100% CUTS kN	ADMISSIBLE LOAD AT 50% CUTS kN	ADMISSIBLE LOAD AT 60% CUTS kN	SSI 2000 mm	SSI 2000-C 843/96 mm	SSI 2000-D mm	B#1	C1	D1/DA	E#1	F#1	G1	H1 mini	B#2	B2	C2	D2/DA	E2	G2	H2 mini	L1	L2	LT1 DECK	LT1 PYLON	LT2 DECK	LT2 PYLON	HORIZONTAL FORCE ON GUIDE DEVIATOR kN	#B4	#B#4	#H4 MINI		
①		①	②	③	mm	mm	mm	mm	mm	mm/mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm/mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
6-12	12	3,348	1,674	2,009	125/4.9	95/5.0	80/5.0	185	260	177.8/4.5	150	190	35	205	190	230	290	219.1/6.3	196	30	320	1,100	1,500	500	500	1,000	1,000	50	430	240	380		
6-19	19	5,301	2,651	3,181	140/5.4	110/5.0	95/5.0	230	335	219.1/6.3	190	233	50	220	235	285	355	267/6.3	241	35	345	1,370	1,770	500	500	1,000	1,000	80	450	300	400		
6-22	22	6,138	3,069	3,683	160/5.0	120/5.0	105/5.0	250	355	219.1/6.3	205	233	50	220	255	310	385	298.5/7.1	261	40	355	1,550	1,950	500	500	1,000	1,000	92	470	320	410		
6-31	31	8,649	4,325	5,189	160/5.0	140/6.0	120/6.0	280	415	244.5/6.3	230	260	60	245	285	350	440	323.9/7.1	291	45	405	1,740	2,140	500	900	1,000	1,200	130	505	360	460		
6-37	37	10,323	5,162	6,194	180/5.6	150/6.0	130/6.0	300	455	273/6.3	255	286	70	270	310	380	485	355/6.8	316	50	435	1,920	2,320	500	900	1,000	1,200	155	545	390	490		
6-43	43	11,997	5,999	7,198	200/6.2	165/6.0	145/6.0	340	505	323.9/7.1	285	337	75	275	350	425	540	406.4/8.8	356	55	450	2,170	2,570	500	900	1,000	1,200	180	585	440	510		
6-55	55	15,345	7,673	9,207	200/6.2	180/6.0	155/6.0	380	550	323.9/7.1	310	337	75	295	385	470	585	419/10	391	60	490	2,290	2,690	500	1,100	1,000	1,400	230	610	490	550		
6-61	61	17,019	8,510	10,211	225/7.0	190/6.0	165/6.0	380	585	355.6/8	330	370	85	310	385	470	600	419/10	391	65	525	2,490	2,900	500	1,100	1,000	1,400	255	630	490	580		
6-73	73	20,367	10,184	12,220	250/7.8	210/6.6	175/6.0	430	650	406.4/8.8	370	420	95	330	440	530	680	508/11	446	75	525	2,710	3,120	500	1,100	1,000	1,400	306	650	550	580		
6-85	85	23,715	11,858	14,229	250/7.8	225/6.9	190/6.0	430	685	406.4/8.8	370	420	110	360	440	540	710	508/11	446	80	585	2,830	3,240	500	1,300	1,000	1,600	356	680	560	640		
6-91	91	25,389	12,695	15,233	280/8.7	230/7.2	200/6.2	480	730	457/10	420	470	110	370	490	590	760	559/12.5	496	80	580	3,080	3,490	500	1,300	1,000	1,600	381	700	610	640		
6-109	109	30,411	15,206	18,247	315/9.8	250/7.7	215/6.7	495	775	457/10	420	470	120	380	505	610	795	559/12.5	511	90	615	3,230	3,640	500	1,300	1,000	1,600	456	730	630	670		
6-127	127	35,433	17,717	21,260	315/9.8	270/8.4	235/7.3	550	845	508/11	475	525	130	430	560	670	865	610/12.5	566	95	665	3,630	4,030	500	2,000	1,000	2,000	531	740	690	700		
6-139	139	38,781	19,391	23,269	315/9.8	-	-	570	900	520/12	480	540	135	440	580	700	910	630/15	590	100	685	3,680	4,090	500	2,000	1,000	2,000	582	-	-	-		
6-151	151	42,129	21,065	25,277	355/11.1	-	-	590	920	559/12.5	490	550	140	460	590	720	940	640/15	600	100	695	3,770	4,170	500	2,000	1,000	2,000	632	-	-	-		
6-169	169	47,151	23,576	28,291	355/11.1	-	-	630	970	585/14	510	580	150	480	630	760	1,000	685/15	640	110	730	4,180	4,580	500	2,200	1,000	2,500	707	-	-	-		
6-187*	187	52,173	26,087	31,304	400/12.3	-	-	660	1,000	600/15	550	620	160	490	660	800	1,050	720/15	670	120	770	4,190	4,590	500	2,200	1,000	2,500	783	-	-	-		



TUGAS AKHIR - RC14-1501
MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGGUNAKAN TIPE EXTRADOSED

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA, 2017

Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

Disusun oleh:
Indra Kusuma Jati Raj Suweda
NRP: 31 12 100 045

Judul Gambar:
Detail potongan pada kabel penggantung

Halaman

20

Jumlah

20

Keterangan:



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

LAMPIRAN II

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017



Form AK/TA-04
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)

Jurusan Teknik Sipil It.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	I. Dr. Ir. Widayat Soegihardjo M., MS II. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
NAMA MAHASISWA	Indra Kusuma Jati Ray Sumeda
NRP	3112100 045
JUDUL TUGAS AKHIR	Modifikasi Perencanaan Flyover Gwanda Menggunakan tipe Extradosed
TANGGAL PROPOSAL	12 Oktober 2016
NO. SP-MMTA	071710 / IT2.3.1.1 / PP.05.02.00 / 2016

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	17/11/2016	<ul style="list-style-type: none"> • Mengecek kembali kombinasi pembebanan. • Mengecek pembebanan akibat Rem. • Mengecek konsep pembagian ratio prestress & label penggantung. 		Pa.
2	16/12/2016	<ul style="list-style-type: none"> • Memperhatikan kontrol tekuk dan puntir pada penampang. 		16/12
3	16/12/2016	<ul style="list-style-type: none"> • Mengecek konfigurasi perletakan • Mengecek mersi polar untuk frekuensi torsi • Mengecek nilai reynold. • mencari urutan pelaksanaan 		gk
4	23/12/2016	<ul style="list-style-type: none"> • Mengecek & merubah bentuk pilar. • Mengecek frekuensi struktur. 		gk
5	28/12/2016	<ul style="list-style-type: none"> • Pengelasan mu, mcmek dan kehilangan. 		Pa.



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN FLYOVER CIWANDA
MENGUNAKAN TIPE EXTRADOSED**

BIODATA PENULIS

INDRA KUSUMA JATI RAJ SUWEDA
NRP. 3112 100 045

Dosen Pembimbing I
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS

Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2017



Indra Kusuma Jati Raj Suweda,

Penulis dilahirkan di Denpasar 10 September 1993, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Catur Asrama, SDN 8 Pemecutan Kaja, SMP Negeri 1 Denpasar, SMA Negeri 4 Denpasar. Setelah lulus dari SMA Negeri 4 Denpasar tahun 2012, Penulis mengikuti ujian masuk SNMPTN ITS dan diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112 100 045.

Dijurusan Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi Struktur Bangunan. Penulis pernah aktif dalam beberapa kegiatan seminar yang diselenggarakan oleh kampus ITS. Selain itu penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan beberapa kegiatan yang ada selama menjadi mahasiswa.